



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**ESTUDIO ISOTOPICO DE LAS
AGUAS SUBTERRANEAS EN LA
ISLA DE LA PALMA**



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Madrid, 1993

El proyecto *Estudio isotópico de las aguas subterráneas en la isla de La Palma* se ha llevado a cabo entre 1992 y 1993. Se planteó por iniciativa del ITGE, ya que, hasta ahora no se había realizado ninguna investigación en la isla de La Palma basada en la composición isotópica de las aguas subterráneas, por lo que constituye una contribución importante al conocimiento del ciclo hidrológico dentro del archipiélago.

El estudio ha sido realizado por GEOMECANICA Y AGUAS, S.A. en régimen de contratación con la Dirección de Aguas Subterráneas y Geología Ambiental del Instituto Tecnológico Geominero de España.

Dentro del equipo de trabajo, cabe destacar la participación por parte del ITGE, de D^a María Gómez Martos (Lda. CC. Geológicas), como Directora del Proyecto, y por parte de Geomecánica y Aguas, la de D^a M^a Teresa Maestro Salmerón (Lda. CC. Químicas) en la redacción y elaboración de los resultados y la de D. Santiago Adánez Corral (Ldo. CC. Geológicas), en la realización del muestreo.

**ESTUDIO ISOTOPICO DE LAS AGUAS
SUBTERRANEAS EN LA ISLA
DE LA PALMA**

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
1.1. Situación de la zona de estudio	3
1.2. Objetivo	5
1.3. Metodología	5
2. CLIMATOLOGIA	6
2.1. Brisa Marina	7
2.2. Anticiclón de las Azores	10
2.3. Estructura vertical de la troposfera	10
3. GEOLOGIA	16
3.1. Características geológicas generales de la isla de La Palma	17
4. HIDROGEOLOGIA	20
5. MUESTREO QUIMICO E ISOTOPICO	26
5.1. Criterios de selección de los puntos a muestrear	27
5.2. Distribución de los puntos de muestreo	27
5.2.1. Muestreo de aguas subterráneas	28
5.2.2. Muestreo de agua de lluvia	28
6. HIDROGEOQUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA PALMA	34
6.1. Resultados analíticos de componentes mayoritarios y minoritarios	35
6.2. Composición química de las aguas subterráneas	38
6.3. Estudio de las relaciones iónicas	42
6.3.1. Relación $r_{Na/rCl}$	42
6.3.2. Relación $r_{Mg/rCa}$	44
6.3.3. Relación $r_{(Na + K - Cl)/r(Ca + Mg)}$	45
6.3.4. Relación $r_{SO_4/rCl}$	45

7. CONTENIDO EN ISOTOPOS ESTABLES DEL AGUA SUBTERRANEA	46
7.1. Resultados analíticos	47
7.1.1. Validez de los resultados	48
7.2. Composición isotópica de las precipitaciones locales	51
7.3. Composición isotópica de las aguas subterráneas	59
7.4. Mecanismos de salinización	62
7.5. Delimitación de las zonas de recarga	63
RESUMEN Y CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	70

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1.	Situación de la zona de estudio 4
Figura 2.1.	Pluviometría media anual de la isla de La Palma 13
Figura 3.1.	Cartografía geológica de la isla de La Palma 19
Figura 4.1.	Esquema de funcionamiento de un acuífero insular y formas de extraer agua subterránea 22
Figura 4.2.	Mapa de isopiezas de La Palma 25
Figura 5.1.	Situación de los puntos de muestreo de aguas subterráneas en la isla de La Palma 29
Figura 5.2.	Situación de los pluviómetros y captanieveblas emplazados para la recogida de muestras de lluvia 31
Figura 5.3.	Aspecto del captanieveblas situado en Cumbre Nueva a 1489 m de altitud (CN ₁) 32
Figura 5.4.	Aspecto del captanieveblas situado en Cumbre Nueva a 1373 m de altitud (CN ₂) 33
Figura 6.1.	Diagrama de Piper de las aguas subterráneas de la isla de La Palma . 40
Figura 7.1.	Correlaciones entre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ aportados por los laboratorios del CSIC y Viena 50
Figura 7.2.	Correlaciones entre los valores de $\delta^2\text{H}$ aportados por los laboratorios del CSIC y Viena 51
Figura 7.3.	Composición isotópica de las precipitaciones locales en relación con la línea meteórica mundial y con la obtenida a partir de valores medios ponderados en estaciones próximas 52
Figura 7.4.	Situación de las estaciones utilizadas para obtener la relación $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ en las precipitaciones 53
Figura 7.5.	Composición isotópica de las precipitaciones locales en relación con la composición de las precipitaciones en las estaciones de referencia (valores medios de mayo y valores medios ponderados con la precipitación) 57
Figura 7.6.	Valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las aguas subterráneas en relación con composición isotópica de las precipitaciones 59

Figura 7.7.	Relación entre el contenido en $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas subterráneas y la conductividad	63
Figura 7.8.	Relación entre el contenido en $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas subterráneas y el gradiente de altitud	64

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1.	Temperaturas medias mensuales medidas en la isla de La Palma 9
Tabla 2.2.	Valores de precipitación, evapotranspiración, escorrentía e infiltración de las Islas Canarias 12
Tabla 2.3.	Valores medios mensuales de precipitación en la isla de La Palma . . . 15
Tabla 5.1.	Denominación de las galerías muestreadas y coordenadas de situación de la bocamina 30
Tabla 6.1.	Resultados analíticos de las muestras de aguas subterráneas 36
Tabla 6.2.	Relaciones iónicas más significativas de las aguas subterráneas de La Palma 43
Tabla 7.1.	Valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las aguas subterráneas de la isla de La Palma 49
Tabla 7.2.	Valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las precipitaciones locales 50
Tabla 7.3.	Valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las muestras de agua analizadas en los laboratorios del CSIC y de Viena 50
Tabla 7.4.	Estaciones utilizadas para obtener la relación $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en las precipitaciones 54
Tabla 7.5.	Valores medios de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ ponderados con la precipitación 55
Tabla 7.6.	Valores medios de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$, precipitación y temperatura correspondientes al mes de mayo 57

ANEXOS

- ANEXO 1. Descripción de las galerías muestreadas**
- ANEXO 2. Resultados analíticos de componentes mayoritarios y minoritarios**
- ANEXO 3. Resultados analíticos de ¹⁸O y Deuterio**

1. INTRODUCCION

1. INTRODUCCION

A partir del descubrimiento de los isótopos en la década de los años 20, las investigaciones llevadas a cabo con los isótopos estables del agua han aumentado considerablemente, constituyendo en la actualidad una herramienta imprescindible en estudios hidrogeológicos e hidrogeoquímicos.

En los trabajos desarrollados para profundizar en el conocimiento del ciclo hidrológico, el estudio de los isótopos estables aporta información sobre los parámetros medioambientales con los que está relacionado.

Los isótopos estables O-18 y Deuterio constituyen un excelente trazador natural, ya que al formar parte de las moléculas de agua, no necesitan ser introducidos en el medio sujeto a investigación (DAVIS, 1991), eliminándose así posibles contaminaciones, y preservando el medio ambiente.

En general, el contenido isotópico del agua refleja su origen, en cuanto a situación y procesos de recarga, y su historia, en lo que se refiere a procesos de salinización y mezcla.

Estos son los principios básicos que se aplican en la interpretación de los datos en este proyecto, que se centra en el estudio de las características de las aguas subterráneas de la isla de La Palma (dentro del Archipiélago Canario), tanto en lo que se refiere a su composición química como isotópica.

1.1. Situación de la zona de estudio

La isla de San Miguel de La Palma está situada en el extremo noroccidental del Archipiélago Canario, a unos 500 km de la costa africana. Sus límites extremos son Punta Rabisca al Norte, Punta Salinas al Este, Punta de Fuencaliente al Sur y Punta del Serradero al Oeste (Fig. 1.1).

Tiene forma de triángulo isósceles invertido, con una extensión superficial de 728 km² y dimensiones máximas de 47 km (de Norte a Sur) y 27 km (de Este a Oeste).

La Caldera de Taburiente, declarada Parque Nacional de España, constituye la característica fisiográfica más importante de la isla, con desniveles superiores a 1500 m. La zona más elevada de este circo montañoso la constituye el Roque de los Muchachos con 2426 m.

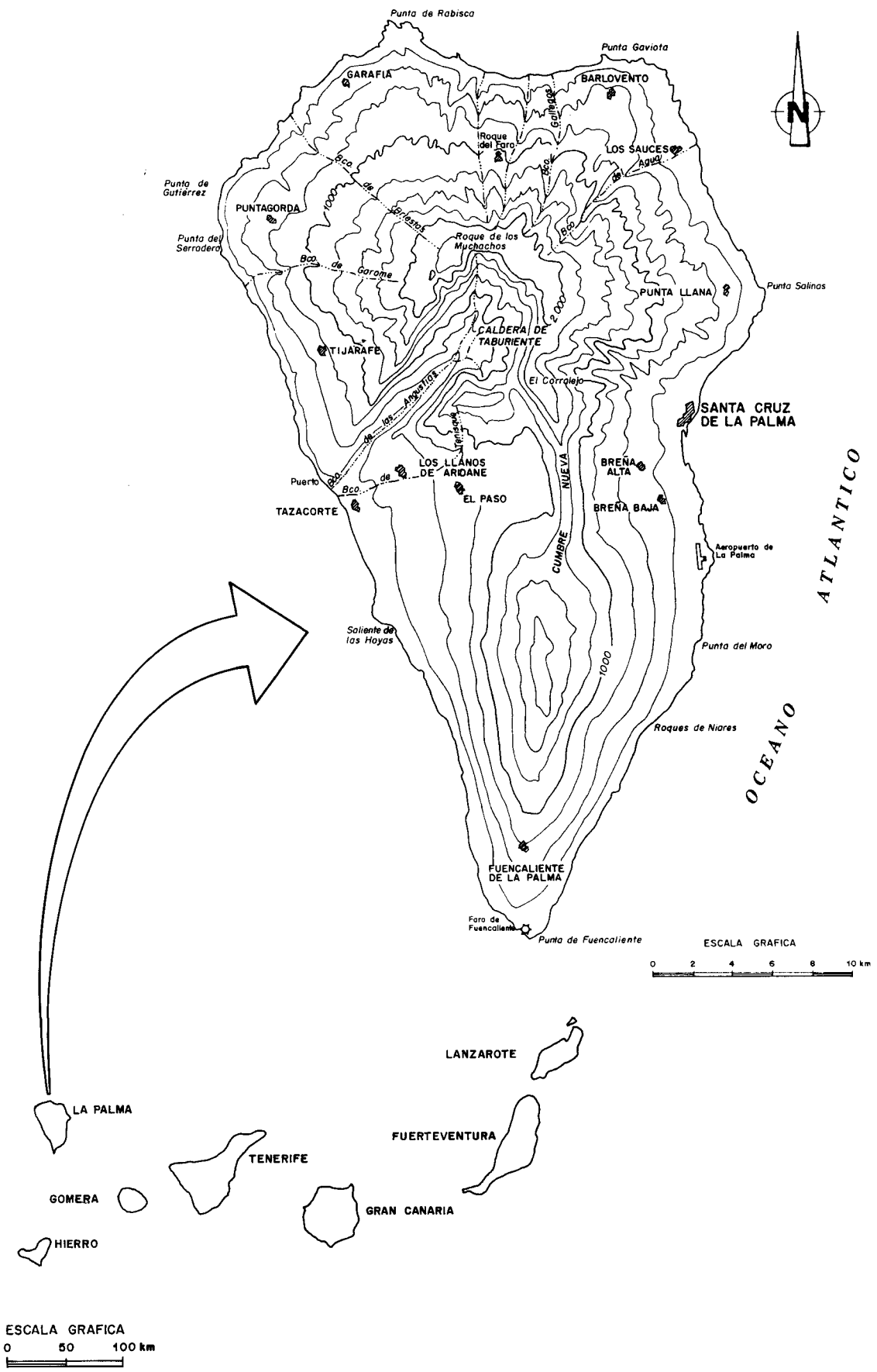


Figura 1.1. Situación de la zona de estudio

1.2. Objetivos

El objetivo fundamental a cubrir con la realización de este estudio es conocer tanto las características químicas del agua subterránea en la isla de La Palma, como el funcionamiento hidrodinámico del acuífero o acuíferos existentes.

Para la consecución de este objetivo de carácter general es preciso alcanzar una serie de objetivos específicos entre los que destacan:

- Analizar las variaciones composicionales que presentan las muestras de agua subterránea.
- Delimitar las zonas de recarga del acuífero o acuíferos existentes.
- Analizar la relación existente entre la composición química e isotópica del agua subterránea y su situación en el acuífero.
- Incorporar la información obtenida a la Base de Datos de Canarias.

1.3. Metodología

El desarrollo del estudio se ha llevado a cabo en una serie de etapas sucesivas, que se detallan a continuación:

- Recopilación de la información existente y de utilidad para la investigación.
- Selección de los puntos de muestreo para análisis químico e isotópico.
- Toma de muestras de agua en los puntos previamente elegidos.
- Elaboración e interpretación de los resultados.
- Obtención de conclusiones y recomendaciones.

2. CLIMATOLOGIA

2. CLIMATOLOGIA

La situación del Archipiélago Canario en la región atlántica de los alisios del NE, su proximidad al continente africano y la notable diversidad orográfica de las diferentes islas le otorgan un régimen meteorológico tremendamente particular.

En este apartado se tratan de forma resumida algunos aspectos relacionados con la dinámica atmosférica, haciendo especial hincapié en los principales elementos climáticos con influencia isotópica (temperatura ambiente, régimen de vientos, precipitaciones, etc.).

El archipiélago canario presenta un clima definido esencialmente por las Altas Presiones Subtropicales del Atlántico Norte debidas a los vientos alisios, que determinan en gran medida la circulación atmosférica local.

Las condiciones climáticas generales que tienen una marcada influencia en el ciclo hidrológico son: el efecto de brisa marina, el anticiclón de las Azores y la especial configuración vertical de la troposfera.

2.1. Brisa Marina

La temperatura del agua del mar que baña las costas canarias (18°C en enero y 23°C en agosto) es relativamente baja si la comparamos con las costas americanas (en Cuba, situada más o menos a la misma latitud, la temperatura del agua del mar, es constante, de unos 26°C, durante todo el año). Esto es debido al predominio de los vientos del NE, procedentes del continente africano, que empujan a las capas superficiales del océano hacia el interior de éste, hecho que provoca en estas latitudes un ascenso de aguas más profundas y frías que origina una corriente marítima, denominada corriente marina de Canarias (ITGE, 1989).

La inercia térmica del océano, que opone resistencia a estos hechos descritos, es asimismo la responsable de que en zonas costeras, se retrase el mínimo de temperaturas y en vez de producirse éstas en los meses de diciembre y enero, se produzcan entre febrero y marzo. En las zonas altas donde esta influencia de la brisa marina está amortiguada por estos factores climáticos, se mantiene enero como el mes más frío.

Este retraso en las temperaturas mínimas también se produce en las máximas. En las regiones costeras, aunque el mes de agosto es el más caliente, las temperaturas de septiembre y octubre son en general más altas que las de julio y junio respectivamente.

Uno de los factores que influyen de forma decisiva en la composición isotópica del agua subterránea es la temperatura existente en el momento de producirse el episodio lluvioso.

La temperatura ambiente varía fundamentalmente en función de la altitud y de la época del año. En la tabla 2.1. se incluyen los valores medios mensuales de temperatura medidos en tres estaciones meteorológicas situadas a distintas altitudes (30 m, 230 m y 740 m) en La Palma (UNESCO-DGOH, 1975).

Se observa cómo los valores máximos se registran en los meses de agosto y septiembre (temperaturas de 19°C a 23.3°C), y los mínimos en febrero y marzo (temperaturas de 11.5°C a 17.2°C), dependiendo de la altitud a que se encuentre la estación de medida.

La temperatura media anual a nivel del mar es del orden de 20°C, con mínimas de 17.2°C en marzo y máximas de 23.3°C en agosto-septiembre. La variación anual es por tanto de unos 6°C, que en altitudes superiores llega a ser de unos 9°C. Este aumento es debido a las invasiones de aire polar que se producen en invierno y son más patentes a medida que aumenta la altitud.

Durante el mes de mayo (fecha en que se realizó el muestreo de lluvia), la temperatura media calculada a partir de los datos de la tabla 2.1 es de 16.3°C.

A efectos de lluvia, se observa que el aire más frío y por consiguiente el más pesado, se encuentra a cotas bajas produciéndose con ello un gradiente térmico estable, desfavorable para que se produzcan lluvias.

Tabla 2.1. Temperaturas medias mensuales medidas en la isla de La Palma (UNESCO-DGOH, 1975)

Estaciones	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MEDIA
S.C. de La Palma (30 m)	22.5	20.6	18.8	17.8	17.8	17.2	18.2	19.7	21.5	22.6	23.3	23.3	20.2
La Viña (230 m)	18.1	15.8	13.7	12.6	12.3	14.0	14.4	14.2	16.7	17.9	18.7	19.0	15.6
Barlovento (740 m)	17.0	14.9	12.5	12.2	11.5	13.5	15.1	15.0	16.1	17.9	20.4	17.0	15.3

2.2. Anticiclón de las Azores

Se observa la presencia de un anticiclón situado entre Canarias, las Azores y Madeira durante la casi totalidad del año. Únicamente se desplaza según los meses y siempre dentro del entorno descrito, más cerca de las Azores que de los otros archipiélagos. Los vientos alisios que definen en gran medida el clima canario tienen su origen en este anticiclón. La frecuencia del alisio puede alcanzar valores del 90 al 95% en el mes de junio.

2.3. Estructura vertical de la troposfera

La existencia de estaciones meteorológicas situadas a distintas cotas topográficas ha permitido estudiar la estructura de la troposfera, que ha sido útil para comprender los mecanismos del clima en una zona tan montañosa como son las islas del archipiélago (a excepción de Fuerteventura y Lanzarote). Así se pudo constatar la existencia de dos capas de alisios superpuestas. Una, la más baja, de aire fresco y húmedo de dirección NE y la otra encima de ella y separada por una superficie de discontinuidad e inversión de temperatura, con aire caliente y seco de dirección NO. La humedad y frescor de la capa inferior habría que asignársela al aire polar marítimo (ITGE, 1989).

Esta capa presenta generalmente una potencia de 900 a 1600 m y en su parte superior, los movimientos de turbulencia y convección debidos al alisio provocan la formación de extensos bancos de nubes en forma de estratocúmulos. El desarrollo de nubes en altura está impedido por la presencia del aire seco situado por encima de la superficie de inversión. Por todo ello el "mar de nubes", tan característico de este archipiélago, marca prácticamente el límite superior de la zona inferior húmeda. Este mar, y con él el espesor de la zona húmeda, es variable con las estaciones, situándose a mayor altitud en invierno que en verano. En ocasiones, debido a la aparición de aire continental sahariano caliente, se produce un descenso de esta capa de nubes.

El régimen de lluvias de Canarias está por tanto íntimamente ligado a la evolución anual que experimenta la circulación del alisio y se caracteriza por el acusado mínimo estival en los totales mensuales de precipitación, cuando más intensos y predominantes son los alisios. Aunque el espesor de la capa de estratocúmulos supera a veces los 1000 m, no es

propicia a originar lluvias importantes; sólo ocasionalmente da lugar a ligeras precipitaciones en los lugares más favorecidos.

Para que se produzcan lluvias importantes es necesario que previamente la circulación general del alisio haya sido sustituida por otras situaciones meteorológicas que traigan consigo la desaparición temporal de la inversión de temperatura. De éstas, las más frecuentes están constituidas por invasiones de aire polar marítimo, el cual al ser obligado a ascender por el relieve, es responsable de la mayoría de las lluvias. No obstante, se da el caso de que, en general, las lluvias más importantes, no las más frecuentes, se producen con vientos del sector Sur en situaciones meteorológicas muy especiales en las que entran en juego masas tropicales de aire húmedo.

En general, la mayor frecuencia de los temporales de lluvia tiene lugar en la segunda mitad del otoño y en la primera mitad del invierno. Suelen ser de corta duración y raramente se dan más de cinco al año; cuando esto sucede se tiene un año relativamente lluvioso pero basta con que fallen un par de temporales para que el año resulte seco.

Es típico de las islas con altitudes superiores a esta superficie de inversión (como es el caso de La Palma) que las laderas norte estén la mayor parte del año cubiertas de nubes y las laderas sur tengan un cielo despejado. Este hecho incide en la pluviometría (mayor en las laderas norte), y naturalmente repercute en la vegetación, además de presentar otros condicionantes. En esta orientación, en altitudes comprendidas entre 0 y 500 m, las zonas costeras se encuentran bajo la influencia de los alisios con aire húmedo y fresco y cielo nuboso, pero percibiendo precipitación escasa o nula. En cambio, entre 900 y 1600 m, se sitúa el "mar de nubes", más o menos duradero. Allí, el agua condensada y mantenida en suspensión por el aire es retenida por los accidentes del terreno y la vegetación, lo cual produce una aportación denominada "precipitación horizontal". La cantidad de esta precipitación viene definida por la renovación o circulación del aire y por la superficie de exposición.

En estudios experimentales realizados por el INM a la cota 900 m s.n.m., un pluviómetro instalado bajo un eucalipto triplicó la cantidad de agua recogida en un año respecto a otro situado al descubierto y a escasa distancia de éste último. A la hora de evaluar el papel que debe asignarse a la precipitación horizontal para el cálculo de la infiltración total de agua en las islas, muchos autores consideran que en diversas zonas del

archipiélago la pluviometría media, medida en zonas descubiertas, debería multiplicarse por valores superiores a cinco, con objeto de englobar de esta manera la precipitación horizontal.

En cualquier caso, este tipo de precipitación sólo afecta a las zonas orientadas al norte que, ciertamente, son las de mayor pluviometría.

El porcentaje de infiltración es variable de una isla a otra en función de su morfología, vegetación, geología e hidrología superficial. En San Miguel de la Palma el porcentaje de infiltración es el más alto del archipiélago (un 32% de la precipitación), ya que existe una vegetación abundante que tiende a anular la escorrentía, unido a la elevada permeabilidad de los materiales existentes en superficie (SGOP, 1985).

La precipitación media anual se estima en 660 mm, la más elevada del conjunto de las islas, superando a Tenerife y Gomera con 450 mm y 490 mm respectivamente (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Valores de precipitación, evapotranspiración, escorrentía e infiltración de las Islas Canarias (SGOP, 1985)

Isla	Precipitación (mm)	Evapotranspiración (%)	Escorrentía (%)	Infiltración (%)
Tenerife	450	57	15	28
Fuerteventura	140	90	4	6
Gran Canaria	370	65	16	19
La Palma	660	49	19	32
Lanzarote	140	89	2	9
Gomera	490	66	14	20
Hierro	390	77	3	20

En cuanto al régimen pluviométrico, la figura 2.1. representa el mapa pluviométrico anual de la isla de La Palma.

Existe un gran contraste en la distribución de la precipitación vertical (valores medios anuales) debido al efecto orográfico. En conjunto, la variación es desde 100 mm en las zonas más secas hasta más de 750 mm en áreas extensas de La Palma, que es la isla de mayor pluviosidad de todo el Archipiélago.

En general puede afirmarse que, en las islas montañosas, las laderas y valles expuestos a los vientos del sector NW-SE son relativamente lluviosos, mientras que en aquellos otros resguardados de dichos vientos las lluvias son muy escasas; y que, a igualdad de condiciones de exposición, las zonas más lluviosas se encuentran a niveles entre los 750 m y los 1500 m.

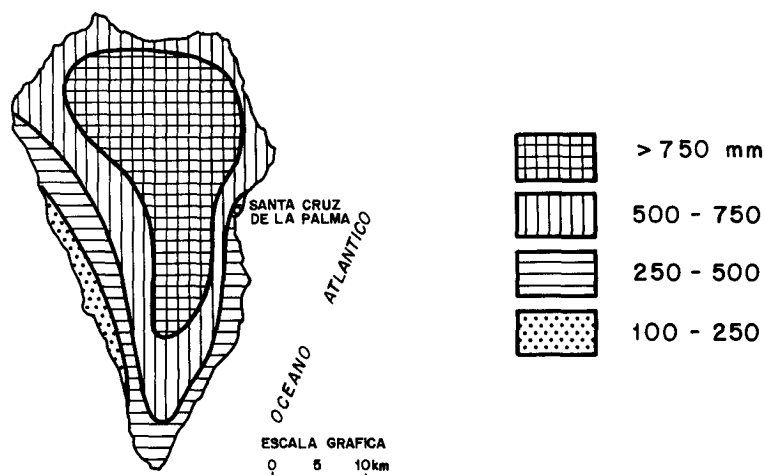


Fig. 2.1. Pluviometría media anual de la isla de La Palma. INM (1983) en ITGE (1989)

Dentro del estudio SPA-15 (UNESCO-DGOH, 1975) se llevó a cabo un seguimiento de los valores aportados por una red de 37 estaciones pluviométricas. En dicho estudio se observó un aumento lineal de la precipitación con la altitud (entre 0 y 700 m), que era aún mayor entre 700 y 1700 m de altitud, para disminuir posteriormente a partir de 1700 m.

Los valores medios de precipitación encontrados oscilaban entre 200 y 300 mm en la costa, entre 1100 y 1150 mm en el interior de la Caldera y eran de 1000 mm en la zona más elevada de la isla.

En la tabla 2.3. se incluyen los valores medios mensuales de precipitación recogidos en 18 estaciones meteorológicas situadas en la isla de La Palma.

Se observa que para el mes de mayo (época en que se realizó el muestreo), la precipitación media es de 12.2 mm. Los valores más altos se registran en los meses de noviembre y enero, mientras que los más bajos corresponden al mes de julio.

Tabla 2.3. Valores medios mensuales de precipitación en la Isla de La Palma (SPA-15, 1975)

Nº - Nombre Estación	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
1. Argual	43.1	76.9	47.1	79.3	43.0	33.7	15.4	8.9	2.0	1.1	0.4	2.5	353.4
2. Barlovento	127.3	181.8	114.3	157.3	64.8	70.1	36.2	20.2	5.1	2.4	5.6	24.4	809.5
3. Breña Baja	86.9	116.2	74.3	99.6	49.1	38.3	11.3	11.8	2.0	0.2	3.2	7.9	500.8
4. Buenavista de Arriba	113.2	204.0	113.9	141.9	72.6	68.6	27.3	10.6	6.6	0.8	3.3	15.7	778.5
5. Fuencaliente	64.0	127.4	83.7	88.8	46.5	48.7	18.9	9.8	4.8	0.4	0.0	5.9	498.9
7. Garafia	79.8	127.9	101.7	133.2	64.6	74.6	32.1	14.9	4.9	0.6	1.1	6.8	642.2
8. Las Tricias	70.3	122.4	98.1	122.7	59.0	69.7	37.9	14.6	4.1	0.1	0.6	6.7	606.2
9. Llanos de Aridane	56.2	102.5	64.3	85.9	47.8	43.6	19.1	11.0	3.6	0.2	0.4	3.2	437.8
10. Mazo	121.9	193.8	127.4	163.1	85.4	80.2	31.8	13.3	10.2	1.1	4.1	22.8	855.1
11. Punta Cumplida	46.3	52.0	40.2	46.3	20.6	18.5	8.0	4.0	0.8	0.4	1.7	7.9	246.7
12. Punta Gorda	72.4	138.6	88.9	125.7	63.5	67.3	40.0	16.3	5.3	0.1	0.2	8.0	626.3
13. Puntallana	108.8	132.2	96.4	132.8	47.4	57.3	25.5	17.6	5.3	1.5	10.1	18.7	653.6
14. San Andrés y Sauces	88.7	122.6	87.4	107.7	46.3	53.3	21.4	10.1	4.0	1.5	5.9	13.8	562.7
15. Sta. Cruz de La Palma I	72.6	138.7	75.8	96.6	42.0	43.4	12.8	9.9	2.0	0.2	3.0	10.1	507.1
16. Sta. Cruz de La Palma B	67.7	123.2	69.4	90.5	45.7	40.7	11.0	11.3	2.2	0.1	2.7	9.1	473.6
17. Tazacorte	36.3	65.2	41.3	60.2	31.6	28.1	11.3	6.7	1.7	0.0	0.1	1.5	284.0
18. Velhoco	113.5	174.6	96.3	140.5	71.2	62.3	23.6	16.9	3.4	0.6	2.6	13.1	718.6
Precipitación Media Mensual	76.1	122.2	78.9	104.0	50.1	49.9	21.3	12.2	3.8	0.6	2.5	9.9	

3. GEOLOGIA

3. GEOLOGIA

Las Islas Canarias están constituidas en su mayor parte por materiales volcánicos procedentes de distintas erupciones, separadas entre sí por períodos en los que la erosión ha sido intensa. Las formaciones sedimentarias son escasas y generalmente derivan de rocas volcánicas.

Las rocas más antiguas del Archipiélago Canario son los complejos basales pre-Miocenos, compuestos por rocas plutónicas básicas y ultrabásicas, recubiertos posteriormente por sedimentos silíceos detríticos y productos volcánicos submarinos asociados. Estos complejos basales están fuertemente inyectados por diques de diversos orígenes.

A comienzos del Mioceno tuvieron lugar erupciones subaéreas generales, que dieron lugar a la edificación de las islas como resultado de continuas efusiones magmáticas fisurales. Estas enormes masas tabulares de lavas y piroclastos tienen más de 1000 m de potencia. A estos basaltos miocenos se les denomina Basaltos Antiguos.

Tras la formación de estas masas basálticas cada isla evolucionó de forma independiente con una sucesión de episodios volcánicos de distinto tipo, que alternaron con períodos de calma en los que los agentes erosivos destruyeron parcialmente el relieve. Por esta razón, la geología sencilla en sus aspectos generales (en lo que se refiere a la secuencia litológica, que apenas está modificada tectónicamente), se hace muy complicada a pequeña escala, debido a la imbricación de materiales heterogéneos procedentes de diferentes centros, a la existencia de abruptos paleo-relieves, a la semejanza de materiales de distintas edades y, finalmente, a la existencia de una extensa cobertera de materiales más modernos.

3.1. Características geológicas generales de la Isla de La Palma

El Complejo Basal es la formación más antigua de la isla. Aflora en la Caldera de Taburiente y en ventanas erosivas del curso alto de algunos barrancos del N y NE.

El Complejo Basal está constituido por lavas almohadilladas de composición basáltica y traquítica, intruídas por rocas holocristalinas y por una malla de diques en todas las direcciones que representan entre un 60 y un 90 % de la roca de caja.

Por encima del Complejo Basal existe un paquete de aglomerados de unos 100 m de espesor, que sirve de base a las formaciones volcánicas posteriores. Estas formaciones están constituidas por un apilamiento de centenares de coladas con más de 1000 m de espesor. Son los Basaltos Antiguos que afloran en la mitad norte de la isla, en los que al menos se pueden distinguir las Series I y II.

La mitad sur de la isla está constituida por coladas basálticas del Cuaternario reciente (Serie IV) que recubren un sustrato denominado Serie III o del Acantilado, constituida por basaltos, aglomerados y coladas.

Para terminar, cabe destacar la presencia de una formación de conglomerados que aflora en la desembocadura del Barranco de las Angustias.

En la figura 3.1. se incluye la cartografía geológica de la isla de La Palma realizada dentro del Proyecto SPA-15 (UNESCO-DGOH, 1975).

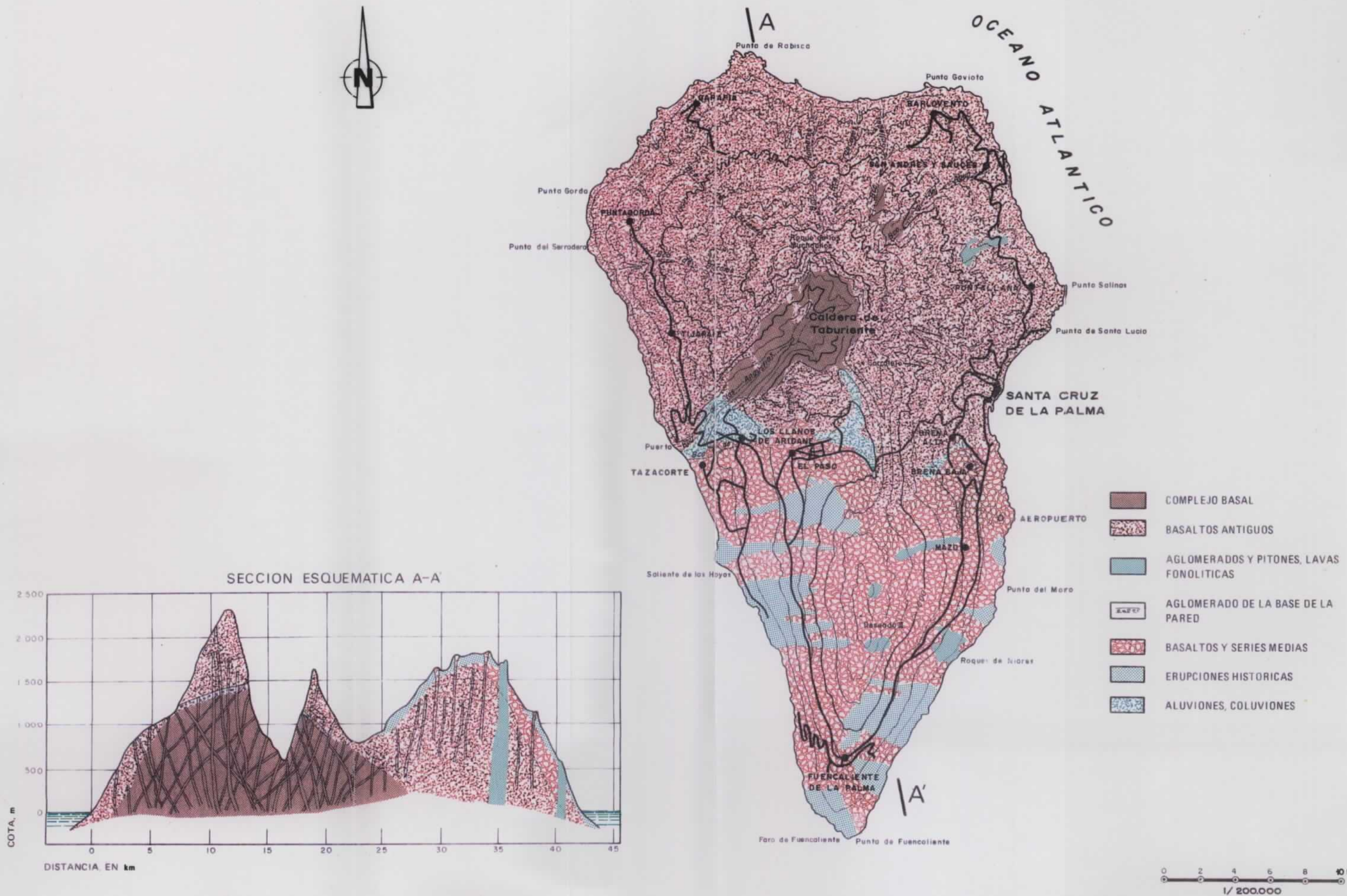


Figura 3.1.- Cartografía geológica de la isla de la Palma (UNESCO-DGOH, 1975).

4. HIDROGEOLOGIA

4. HIDROGEOLOGIA

En cada isla del archipiélago el agua subterránea se encuentra formando un acuífero libre único. El zócalo impermeable coincide con la presencia de materiales más antiguos, como es el Complejo Basal, situado en el subsuelo a cotas superiores al nivel del mar. En la isla de La Palma el nivel piezométrico alcanza cotas superiores a 1750 m en su parte más alta (SGOP, 1985).

La zona superficial del Complejo Basal está por lo general descomprimida y alterada, sin embargo, a mayor profundidad se puede considerar como una barrera impermeable (CUSTODIO, 1983).

En la mitad norte de la isla, la transmisividad media de los materiales que constituyen los Basaltos Antiguos (Series I y II) oscila entre 5 y 50 m²/día, aunque en zonas costeras y en algunos contactos intraformacionales, o con el Complejo Basal, la transmisividad varía entre 250 y 500 m²/día, valor que en la desembocadura del Barranco de Las Angustias puede alcanzar los 2000 m²/día.

La mitad sur está formada por materiales más modernos, aparentemente más permeables. En esta zona la calidad del agua subterránea no la hace apta para el riego, por lo que apenas existen captaciones, hecho que determina la ausencia de datos de parámetros hidráulicos.

En Canarias el agua subterránea se capta a partir de manantiales, pozos o galerías (Fig. 4.1.). Los manantiales o nacientes (según la terminología local) se originan cuando la superficie piezométrica corta a la superficie topográfica. Se encuentran en la zona de descarga del acuífero, o bien en áreas asociadas al contacto entre materiales permeables (Series Basálticas I y II) y terrenos antiguos impermeables (Complejo Basal). Así se pueden citar los nacientes de Marcos y Cordero en La Palma.

En otros casos, los nacientes se deben a la existencia de vías preferentes de drenaje, como son las fisuras y algunos diques.

Otro tipo de captación de agua en Canarias lo constituyen las galerías. Se podría definir como galería a toda excavación en forma de túnel con paredes filtrantes, sección apreciable y sentido ligeramente ascendente con el avance (es frecuente encontrar desniveles del 5%). Su misión es actuar como una vía fácil de salida del agua, al alcanzar la perforación el terreno saturado perteneciente al acuífero.

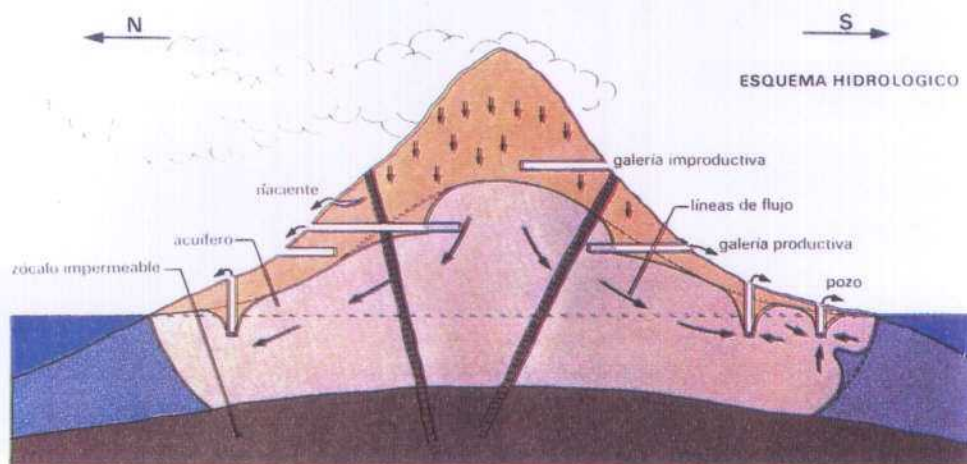


Fig. 4.1. Esquema de funcionamiento de un acuífero insular y formas de extraer agua subterránea

El caudal que se extrae de una galería es variable con el tiempo. Al acabarse la perforación se obtienen caudales elevados, pero a medida que el acuífero va asimilando el condicionante de un drenaje en su interior, disminuye su caudal hasta llegar un momento en que se estabiliza. Cuando sucede este equilibrio de caudales, es cuando el acuífero cede a la galería un volumen de agua que es función de la recarga que a él accede y de las características hidrogeológicas del terreno que forma el acuífero. La diferencia entre este caudal de equilibrio y los caudales iniciales, se ha nutrido a expensas del agua de almacenamiento que poseía dicho acuífero. En ocasiones las galerías llegan a "secarse", esto es, a dar un caudal demasiado bajo para su rentabilidad. Esto puede producirse bien porque el caudal de equilibrio no alcance mayor cantidad o porque la galería haya intersectado únicamente pequeños acuíferos colgados cuya recarga sea escasa y las aguas aportadas, en la época productiva, hayan sido obtenidas a expensas de agotar el almacenamiento. Una vez agotado éste, el caudal de la galería, proporcional a la recarga, deja de ser rentable por insuficiente o en algunos casos nulo.

Cuando la demanda del caudal exigido a la galería aumenta, obliga a perforar un nuevo tramo en ella que vuelve a repetir las características ya comentadas para los caudales iniciales. En muchos casos estas nuevas perforaciones no alcanzan el caudal demandado o previsto, y se suspenden las obras en dicha galería. Esta suspensión puede ser debida a una longitud perforada ya excesiva, que dificulta posteriores trabajos, o a la presencia de gases y temperaturas elevadas que disminuyen el rendimiento de avance de la galería. En algunos casos, incluso, se ha llegado perforando a rebasar, por el lado opuesto, al domo que forma el nivel freático. En Canarias existen muchas de estas galerías abandonadas por improductivas.

En la isla de La Palma existen unos 150 manantiales de los que 120 se encuentran en el interior de La Caldera de Taburiente. Los mayores son los de Los Cantos de Turugumay (suman en conjunto unos 46 l/s).

Estos manantiales de La Caldera se suelen localizar entre las cotas 1000 y 1500, generalmente en el contacto del Complejo Basal con las series basálticas posteriores, aunque algunos de ellos aparecen en contactos intraformacionales a cotas próximas a los 500 m.

En el resto de la isla hay unos 30 manantiales. Los más importantes son los de Marcos, Cordero, Caldero de Marcos, del Río y Gallegos, éstos dos últimos en los barrancos de igual denominación y los tres primeros en el Barranco del Agua.

Los tres manantiales del Barranco del Agua, se sitúan entre las cotas 1300 y 1350, en el contacto del Complejo Basal con las series basálticas posteriores, tienen un caudal medio de 150 l/s.

Algunos de los nacientes, en especial los de la mitad noroeste de la isla, son manantiales colgados, que afloran en las Series I y II a favor de contactos intraformacionales, almagres o sistemas de fisuras interconectadas. Pero, en general, los manantiales son afloramientos de la superficie piezométrica, que ha quedado al descubierto por la erosión remontante de los profundos barrancos de la zona, Las Angustias, del Agua, del Río y Gallegos.

Las galerías de La Palma (unas 160), son similares a las de las restantes islas. Tienen una sección de 1.20 a 1.50 m, por 1.80 a 2.00 m de altura; su pendiente es del 0.5

al 1% y su situación se ha escogido por la existencia previa de fuentes o galerías con gran caudal en la zona y, en ocasiones, tratando de llegar a algún contacto entre formaciones geológicas.

Los pozos de la isla de La Palma (del orden de 50), son semejantes a los de otras islas del Archipiélago. Son pozos de unos 2.50 m de diámetro, en los que son frecuentes las galerías y "catas" (sondeos) en todas las direcciones. Algunos de ellos son un simple acceso a una galería que se explota como tal o mediante un pozo en su frente, caso normal en las proximidades de la costa para evitar el problema de la intrusión.

Los pozos se concentran en dos zonas principales, las desembocaduras de los barrancos de Las Angustias y Tenisca, y los alrededores de Santa Cruz de La Palma.

De los 50 pozos, 23 son productivos; de ellos 13 extraen el agua de aluviales o materiales de arrastre (conglomerados Angustias) y los 10 restantes explotan formaciones basálticas de las series antiguas (JIMENEZ, 1974).

No se ha podido elaborar un mapa piezométrico de La Palma con los datos recabados durante la realización de este estudio, debido a la inexistencia de datos en gran parte de la superficie insular. Si se considera el obtenido en otros estudios, se obtiene un mapa de isopiezas (Fig. 4.2.) que se adapta a la topografía, con líneas de drenaje preferencial que coinciden con los grandes barrancos (Barrancos de Las Angustias, del Río, del Agua, La Madera, Briestas y Los Hombres), y gradientes que oscilan del 8 al 18% con un valor medio del 15%.

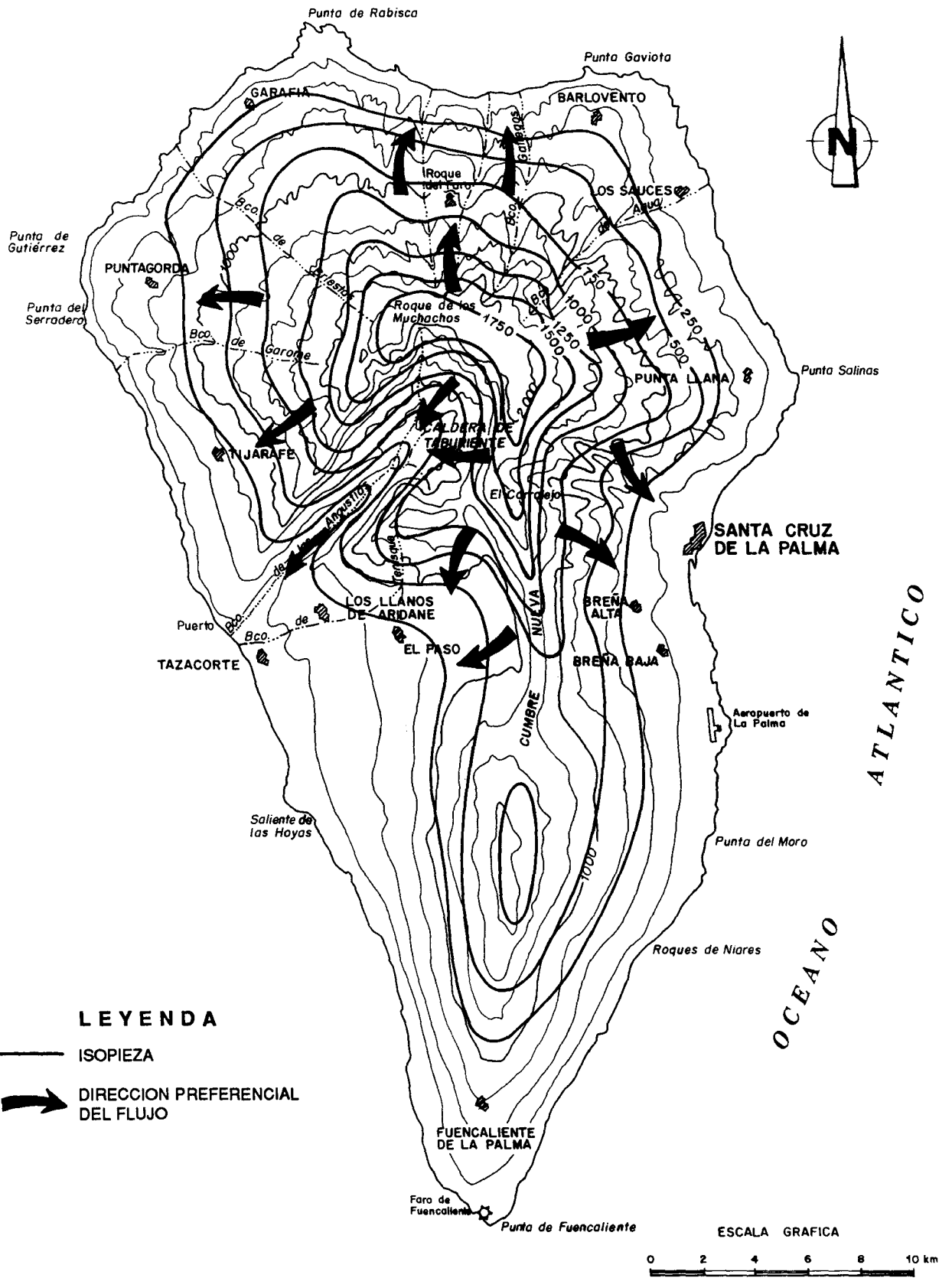


Fig. 4.2. Mapa de isoplezas de La Palma (UNESCO-DGOH, 1975)

5. MUESTREO QUIMICO E ISOTOPICO

5. MUESTREO QUIMICO E ISOTOPICO

Para el estudio de las características químicas e isotópicas de las aguas subterráneas de la isla de La Palma, se han tomado 30 muestras de agua procedentes de 22 galerías, situadas fundamentalmente en la zona noreste de la isla. En el resto de la superficie insular son escasos los puntos de agua existentes, debido a la calidad que presenta el agua subterránea que la inhabilita para determinados usos, y por tanto no existen apenas pozos ni galerías (o en caso de existir se encuentran abandonados y sin equipar).

La campaña de muestreo se realizó durante el mes de mayo de 1992.

5.1. Criterios de selección de los puntos a muestrear

La elección de los puntos para la toma de muestras de agua se ha realizado en base a los criterios siguientes:

- la distribución espacial de los puntos de muestreo ha de cubrir, en la medida de lo posible, la mayor parte de la isla, para tener así una amplia información de las características que presentan las aguas subterráneas.
- las muestras de agua deben proceder de los distintos acuíferos existentes, tomando las muestras a diversas profundidades, cuando se observen cambios litológicos de cierta entidad.

5.2. Distribución de los puntos de muestreo

Para el estudio de las características químicas e isotópicas de las aguas subterráneas se dispone de 30 muestras de aguas subterráneas y 2 de agua de lluvia (pluviómetro y captanieves).

5.2.1. Muestreo de aguas subterráneas

Siguiendo los criterios expuestos en el apartado 5.1., se han seleccionado 22 galerías en la isla de San Miguel de La Palma. En la figura 5.1. se incluye la localización de los puntos de muestreo en dichas galerías.

Partiendo del inventario realizado en 1988 por Geomecánica y Aguas para la Dirección General de Aguas de la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Aguas del Gobierno de Canarias, dentro del proyecto "Estudio Geológico, Hidrológico y Geohidroquímico de todos los puntos de agua de la isla de La Palma", se han seleccionado 30 puntos para muestreo químico e isotópico.

Los puntos de muestreo corresponden a 22 galerías, de las que se tiene una descripción detallada (GEOMECANICA Y AGUAS, 1990), tanto litológica como hidrogeológica (Anexo 1). En algunas galerías se han seleccionado varios puntos para toma de muestras de agua debido a las características particulares que presentan, por drenar acuíferos diferentes, cortar litologías de interés, o alcanzar grandes profundidades.

En la tabla 5.1. se indica la denominación de las galerías en las que se ha realizado el muestreo, las coordenadas de situación de las bocaminas respectivas y la cota a la que se encuentran. Se incluyen también la distancia existente desde la entrada a la galería (bocamina) hasta el punto de muestreo, y la profundidad aproximada expresada en metros. Este cálculo se ha realizado considerando que el trazado de las galerías es prácticamente horizontal.

5.2.2. Muestreo de agua de lluvia

Para la toma de muestras de agua de lluvia se instalaron dos pluviómetros en las zonas norte y centro de la isla, y un captanieveblas. En la figura 5.2. se observa la situación de los mismos.

El primer pluviómetro (P_1) se situó en Roque Faro, a 1000 m de altitud y durante el periodo de observación (mayo de 1992) no recogió agua. El segundo (P_2), se situó en Cumbre Nueva, a 1400 m de altitud y de él se obtuvieron varias muestras.

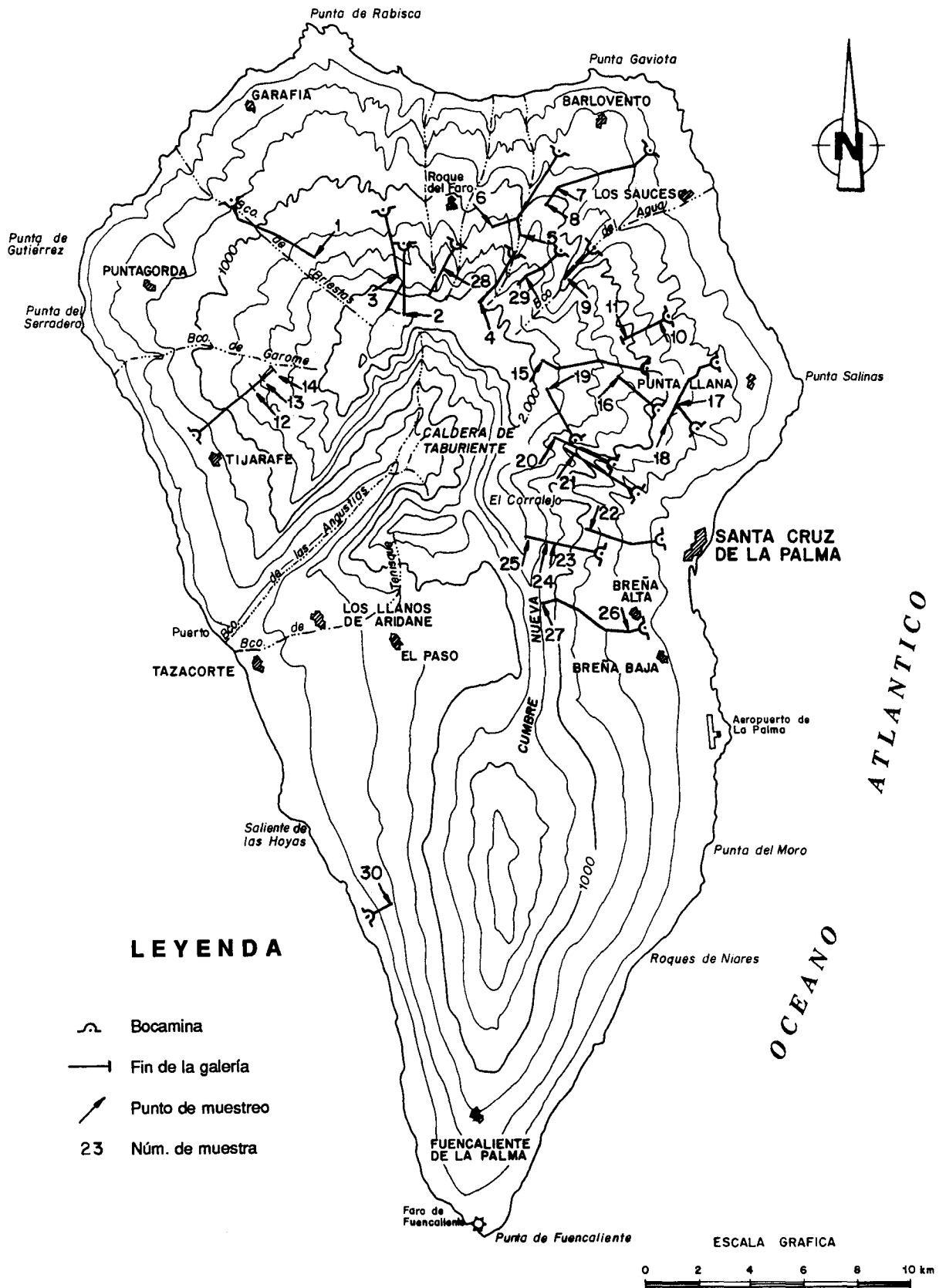


Figura 5.1. Situación de los puntos de muestreo de aguas subterráneas en la isla de La Palma.

Tabla 5.1. Denominación de las galerías muestreadas y coordenadas de situación de la bocamina.

Nº MUESTRA	DENOMINACION DE LA GALERIA	COORDENADAS DE LA BOCAMINA			Distancia desde la bocamina (m)	Profundidad aproximada (m)
		x (UTM)	y (UTM)	z (m) s.n.m.		
1	La Gunderesa	212300	3180850	775	3635	725
2	Los Minaderos	218745	3187080	1420	2485	880
3	Fuente Nueva	218015	3188580	1075	2567	925
4	Roque de los Arboles	223040	3187100	1220	2394	780
5	Cuevitas	224960	3190640	595	3160	505
6	Cuevitas	224960	3190640	595	3650	705
7	Los Girineldos	228155	3190760	300	3761	600
8	Los Girineldos	228155	3190760	300	4278	780
9	San Andrés	226165	3187190	595	1948	405
10	Caldero de los Tilos	228650	3184350	570	197	130
11	Caldero de los Tilos	228650	3184350	570	1994	530
12	Aguatabar	211180	3180480	630	3706	850
13	Aguatabar	211180	3180480	630	3086	950
14	Aguatabar	211180	3180480	630	3707	1020
15	La Rosita	227920	3182713	1003	3991	897
16	Risco Blanco	228425	3181275	850	1971	450
17	Salto de las Poyatas	230175	3180207	290	1404	510
18	Corcho y Zarzalito	230475	3182950	560	2360	240
19	Hidráulica Las Nieves-1	225355	3179900	1100	2153	800
20	Las Mercedes-1	226265	3179200	730	1902	670
21	La Madera (Santa Ana)	227520	3178170	450	2546	850
22	Los Alpes	228090	3176345	275	2371	825
23	La Afortunada	226195	3175850	710	1634	690
24	La Afortunada	226195	3175850	710	1878	790
25	La Afortunada	226195	3175850	710	2649	1140
26	Hidráulica Breña Alta	227665	3173140	300	320	50
27	Hidráulica Breña Alta	227665	3173140	300	3660	900
28	Poleos Bajos	220940	3187815	1175	1857	525
29	La Faya	224680	3187000	1085	1102	615
30	El Remo	217535	3162785	75	805	405

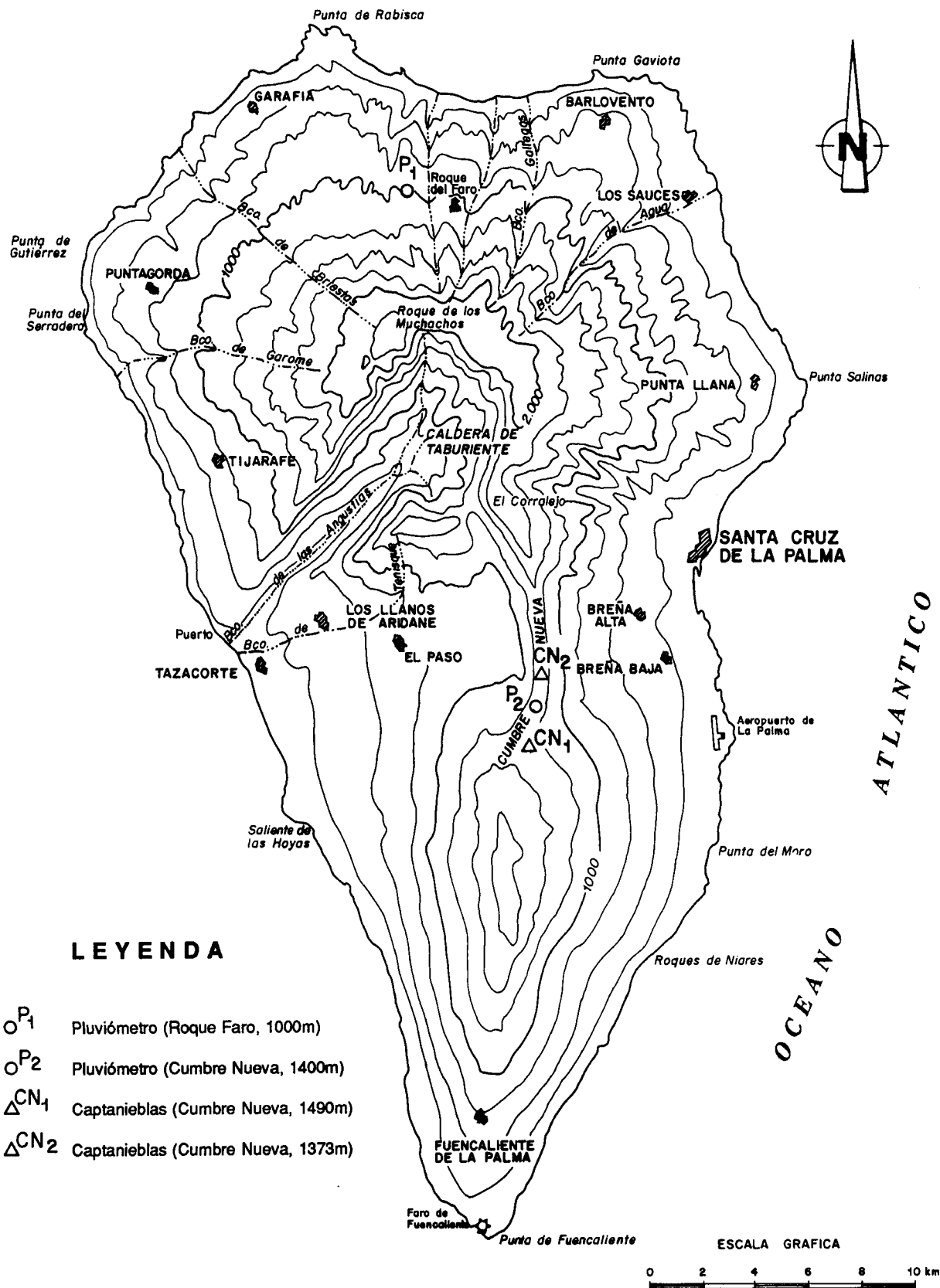


Figura 5.2. Situación de los pluviómetros y captaniblas emplazados para la recogida de muestras de lluvia.

Por último, el muestreo de la lluvia horizontal o niebla se realizó con la ayuda de un captanieblas emplazado en la parte central de la isla de La Palma, en la zona de Cumbre Nueva. Este dispositivo (CN₁), constituido por una superficie de unos 4 m² de polietileno (fig. 5.3), se instaló en principio a 1490 m s.n.m. y no recogió agua durante el periodo de observación (7 días).

Debido al mal funcionamiento de este captanieblas, se cambió el emplazamiento a una zona próxima situada a una cota de 1373 m. Para facilitar la recogida de muestras de niebla se amplió la superficie de polietileno a unos 8 m² (fig. 5.4.); corresponde al captanieblas CN₂ de la figura 5.2.

En el agua de condensación se analizaron O-18 y Deuterio.



Figura 5.3. Aspecto del captanieblas situado en Cumbre Nueva a 1489 m de altitud (CN₁).



Figura 5.4. Aspecto del captanieblas situado en Cumbre Nueva a 1373 m de altitud (CN₁).

**6. HIDROGEOQUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE
LA PALMA**

6. HIDROGEOQUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA ISLA DE LA PALMA

6.1. Resultados analíticos de componentes mayoritarios y minoritarios

Para el estudio de las características químicas de las aguas subterráneas se dispone de los resultados analíticos de las 30 muestras citadas en el apartado 5.2.1.

Los análisis se realizaron en el laboratorio de aguas del Instituto Tecnológico Geominero de Trescantos (Madrid). En cada muestra de agua se analizaron los parámetros siguientes: conductividad, pH, Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄⁻, Cl⁻, CO₃⁻, HCO₃⁻, SiO₂, F⁻, Br⁻, P₂O₅, oxidabilidad al KMnO₄, Cu y Zn.

Los resultados analíticos se recogen en la tabla 6.1. y en el anexo 2.

Tabla 6.1. Resultados analíticos de las muestras de aguas subterráneas

DENOMINACION	MUESTRA	Cond μS/cm	pH	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	D.O.O. mg/l	P ₂ O ₅ mg/l	SiO ₂ mg/l	F ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l
La Guinderesa	1	80	8.4	9	3	7	2	0.00	1	6	1	44	4	0.00	0.5	0.19	47.6	0.00		0.00	0.00
Los Minaderos	2	56	8.0	6	2	5	2	0.00	2	5	0	30	1	0.00	0.8	0.21	33.2	0.00		0.00	0.00
Fuente Nueva	3	71	8.7	9	3	6	2	0.00	1	5	3	36	4	0.00	0.4	0.20	37.3	0.00	0.12	0.00	0.00
Roque de los Arboles	4	114	9.2	26	2	3	1	0.00	2	6	5	60	5	0.00	0.7	0.74	30.6	0.00		0.00	0.00
Cuevitas	5	88	8.8	12	4	6	4	0.00	2	6	4	47	4	0.00	0.5	0.16	34.8	0.00	0.11	0.00	0.00
Cuevitas	6	97	8.1	8	2	6	3	0.00	1	8	0	43	1	0.00	0.8	0.18	36.9	0.00		0.00	0.06
Los Girineidos	7	89	8.0	9	2	7	4	0.00	1	12	0	49	1	0.00	0.7	0.13	39.9	0.00	0.17	0.00	0.00
Los Girineidos	8	106	8.0	7	2	7	4	0.00	1	9	0	47	1	0.00	0.6	0.16	40.3	0.00	0.14	0.00	0.00
San Andrés	9	156	8.1	9	3	6	3	0.00	2	10	0	53	2	0.00	0.5	0.16	40.5	0.00	0.13	0.00	0.00
Caldero de los Tilos	10	86	7.9	11	1	12	7	0.00	2	19	0	69	2	0.00	0.7	0.16	46.2	0.00		0.00	0.00
Caldero de los Tilos	11	122	8.0	8	2	6	4	0.00	2	8	0	43	1	0.00	0.5	0.14	43.9	0.00	0.06	0.00	0.00
Aguatebar	12	119	8.1	13	4	7	4	0.00	2	9	0	63	3	0.00	0.6	0.12	40.0	0.00	0.20	0.00	0.00
Aguatebar	13	118	8.2	13	5	6	3	0.00	1	7	3	56	4	0.00	0.4	0.17	45.6	0.00	0.05	0.00	0.00
Aguatebar	14	100	8.0	10	4	8	3	0.00	1	7	0	57	4	0.00	0.5	0.18	49.2	0.00	0.19	0.00	0.00
La Fosita	15	64	8.1	6	2	7	2	0.00	2	5	0	39	2	0.00	0.5	0.10	41.9	0.00	0.05	0.00	0.00

Tabla 6.1. Resultados analíticos de las muestras de aguas subterráneas (Cont.)

DENOMINACION	MUESTRA	Cond μS/cm	pH	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	D.Q.O. mg/l	P ₂ O ₅ mg/l	SiO ₂ mg/l	F mg/l	Br mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l
Risco Blanco	16	84	8.0	6	2	8	3	0.00	1	8	0	40	1	0.00	0.4	0.18	46.2	0.00	0.16	0.00	0.00
Salto de las Poyetas	17	105	8.1	9	2	6	4	0.00	2	10	0	48	1	0.00	0.4	0.18	44.4	0.00	0.10	0.00	0.00
Corcho y Zarzalito	18	100	8.2	8	2	8	4	0.00	2	9	3	48	0	0.00	0.7	0.19	43.8	0.00	0.07	0.00	0.00
Hidráulica las Nieves-1	19	63	8.0	7	2	4	2	0.00	2	5	0	30	1	0.00	0.5	0.33	47.5	0.00	0.32	0.00	0.00
Las Mercedes-1	20	96	8.3	17	4	4	1	0.00	2	6	3	52	1	0.00	0.7	0.22	41.4	0.00	0.64	0.00	0.00
La Madera (Sta. Ana)	21	100	8.1	15	4	5	2	0.00	2	7	0	59	1	0.00	0.6	0.26	51.6	0.00	0.41	0.00	0.00
Los Alpes	22	137	8.1	19	5	5	4	0.00	2	10	0	72	1	0.00	0.6	0.23	46.0	0.00	0.33	0.00	0.00
La Afortunada	23	96	7.9	11	3	6	3	0.00	2	9	0	52	0	0.00	0.5	0.26	43.2	0.00	0.32	0.00	0.00
La Afortunada	24	94	8.1	11	2	6	2	0.00	2	9	0	44	0	0.00	0.7	0.34	44.6	0.00	0.42	0.00	0.00
La Afortunada	25	89	8.0	9	3	7	3	0.00	2	8	0	51	0	0.00	0.6	0.28	49.4	0.00	0.48	0.00	0.00
Hidráulica Breña Alta	26	188	7.9	24	3	8	3	0.00	11	28	0	55	10	0.00	0.7	0.29	54.2	0.00	0.35	0.00	0.00
Hidráulica Breña Alta	27	223	8.1	19	4	12	10	0.00	3	14	0	115	3	0.00	0.6	0.39	63.4	0.00	0.54	0.00	0.00
Poleos Bajos	28	101	8.2	6	4	7	4	0.00	1	8	1	48	0	0.00	0.5	0.11	31.9	0.00	0.05	0.00	0.00
La Faya	29	90	7.9	8	2	8	3	0.00	2	10	0	47	0	0.00	0.6	0.24	49.4	0.00	0.40	0.00	0.00
El Remo	30	1420	7.9	155	83	37	64	0.00	33	40	0	840	11	0.00	0.6	0.30	62.0	0.60	1.04	0.00	0.00

6.2. Composición química de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas analizadas (la mayor parte corresponden a la mitad norte de la isla) tienen una baja salinidad, con conductividades que oscilan entre 56 y 223 $\mu\text{S}/\text{cm}$, existiendo una muestra que se separa del resto al presentar un valor más alto (1420 $\mu\text{S}/\text{cm}$); corresponde a la muestra nº 30, procedente de la galería El Remo, situada en la zona suroeste de la isla, que corta litologías diferentes (Anexo 1).

El hecho de que presenten estos valores bajos de conductividad (están menos mineralizadas que las aguas subterráneas de las otras islas del archipiélago), se debe a la elevada pluviometría, junto a la existencia de un rápido flujo descendente (permeabilidad vertical dominante) que hace que el tiempo de residencia sea pequeño, insuficiente en muchos casos para que se produzcan interacciones agua-roca apreciables.

En el sur, los fenómenos volcánicos producidos hacen que se intensifiquen los procesos de mineralización, así, se observa como la muestra nº 30 mencionada anteriormente presenta una mayor salinidad.

La galería Hidráulica Breña Alta (en la que se tomaron las muestras nº 26 y 27), se encuentra en el Barranco de Aduares, al sureste, en el contacto entre los Basaltos Antiguos de la Serie II y las coladas de la Serie III, presentando valores intermedios en los parámetros analizados, con conductividades respectivas de 188 y 223 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para las muestras 26 y 27.

Los valores de pH de las aguas analizadas son básicos. Están comprendidos entre 7.9 y 9.2. y son característicos de las aguas que circulan cerca del contacto con el Complejo Basal.

Los valores elevados de pH son frecuentes en los acuíferos volcánicos, debido a la fácil alteración de estos materiales, en especial del olivino (HEM, 1985). Este mineral está ampliamente representado en las galerías muestreadas, según se indica en las descripciones litológicas del anexo 1, apareciendo con frecuencia alterado.

La reacción de alteración del olivino magnésiano (forsterita) a serpentina se puede expresar mediante la reacción química de descomposición de la forsterita para formar antigorita, sílice e iones Mg^{++} :



Forsterita

Antigorita

Esta reacción de alteración, al igual que la de alteración de otros silicatos es irreversible. En ella se consume gran cantidad de iones H^+ , y puede dar lugar a un aumento importante del pH del agua, así como de los contenidos de Mg^{++} y de SiO_2 . Las concentraciones de Mg^{++} , aunque bajas en valor absoluto, suponen un porcentaje importante de la suma total de cationes en las aguas subterráneas analizadas.

Para mantener la condición de electroneutralidad, la reacción anterior debe incluir HCO_3^- como única especie aniónica, que es generalmente el anión predominante en las aguas que circulan por estos materiales (DAVIS et al., 1989). En las galerías muestreadas, con frecuencia aparecen carbonatos entre los minerales secundarios descritos.

Así, se observa que las aguas analizadas son bicarbonatadas, con la única excepción de la muestra 26, que tiene una composición bicarbonatada-clorurada. Los cloruros y sulfatos proceden fundamentalmente del aporte atmosférico, que suele ser de poca entidad.

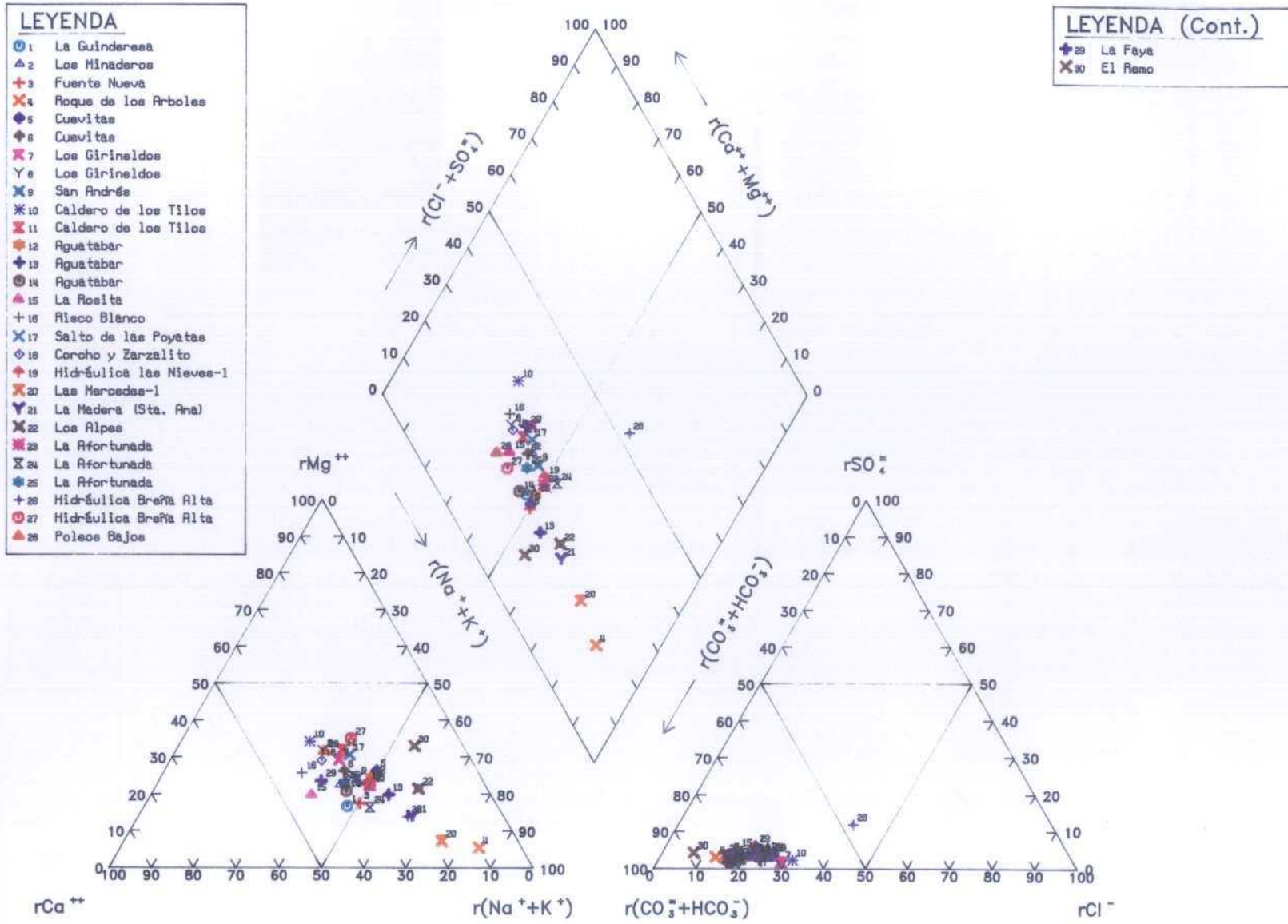
La distribución espacial de Cl^- y SO_4^{--} es similar a la de conductividad. En general las aguas subterráneas presentan valores mínimos en el norte de la isla (los cloruros suelen ser inferiores a 10 mg/l y los sulfatos menores de 3 mg/l), y máximos en el sur (cloruros superiores a 20 mg/l y sulfatos mayores de 10 mg/l), respondiendo al cambio litológico existente: Basaltos Antiguos del Mioceno en el norte y Coladas Basálticas del Cuaternario en el sur (ver capítulo 3, figura 3.1.).

El bajo contenido de cloruros que se encuentra a grandes profundidades indica una vez más, la recarga profunda favorecida por la presencia de fisuras verticales bien desarrolladas.

En el caso de los cationes, la composición varía desde los términos sódicos, o sodico-cálcicos, a otros de carácter intermedio entre sodio, calcio y magnesio. En cualquier caso, la concentración relativa de Mg^{++} respecto a las de Na^+ y Ca^{++} es elevada, debido a la elevada proporción de ferromagnesianos en los materiales basálticos.

En la figura 6.1. se incluye el diagrama de Piper del conjunto de las muestras. En él se observa la variación composicional mencionada anteriormente.

Figura 6.1. Diagrama de Piper aguas subterráneas.



La homogeneidad composicional observada en los iones mayoritarios se aprecia también en el resto de parámetros analizados, que presentan un rango de variación pequeño (si excluimos de este análisis a la muestra núm. 30), con valores bajos de concentración, próximos a los límites de detección en la mayor parte de las determinaciones.

Destacan únicamente los contenidos de SiO_2 , que son relativamente altos para las conductividades que tienen estas aguas, oscilando entre 30.6 y 63.4 mg/l, y pueden ser el resultado de la alteración del olivino.

En estudios llevados a cabo en las Islas Canarias se observan concentraciones anómalas de algunos iones y especies, como es el caso de: F^- , NH_4^+ , SiO_2 , CO_2 , B..., que se asocian a zonas con volcanismo activo (COROMINAS, et al., 1984; D'AMORE, et al., 1990; TELLO, 1990), en las que se produce también un aumento de la temperatura.

En el sur de la isla de La Palma, existen materiales procedentes de erupciones volcánicas históricas, emitidos a lo largo de una línea volcano-tectónica NS que ha originado la actual dorsal. La zona sur de la isla se puede considerar como un yacimiento geotérmico de alta temperatura (GARCIA DE LA NOCEDA, 1984).

En esta zona de la isla se encontraron valores elevados de temperatura y concentraciones de CO_2 , especialmente en la franja costera del suroeste, entre el Saliente de Las Hoyas y La Punta de Fuencaliente (UNESCO-DGOH, 1975), relacionadas con estas erupciones recientes. No obstante, en los datos obtenidos en este estudio no hay indicios que permitan considerar la existencia de procesos relacionados con una actividad geotérmica o hidrotermal asociada al volcanismo reciente, debido a la ausencia de muestras en el sur de la isla.

Tan sólo se dispone de la muestra nº 30, procedente de la galería el Remo, situada entre la Punta del Pozo y la Punta del Cabestro (al suroeste), que como se menciona anteriormente representa los términos más mineralizados entre las aguas muestreadas. Esta elevada salinidad (considerada en términos relativos) puede estar relacionada con un aumento del contenido en CO_2 , que explicaría la elevada concentración de HCO_3^- del agua (840 mg/l), y los valores que se registran de SiO_2 (62 mg/l), de F^- (0.6 mg/l) y de Br^- (1.04 mg/l), que superan las concentraciones de estas especies en el resto de las muestras analizadas. No obstante, no existen datos concluyentes para confirmar esta hipótesis, ya que no se dispone de los valores de temperatura, ni de CO_2 , y el pH de la muestra es elevado (pH = 7.9).

6.3. Estudio de las relaciones iónicas

Se han calculado las relaciones iónicas existentes entre diversos iones mayoritarios, de forma individual y conjunta. Las más significativas, por la información que aportan para el mejor conocimiento del sistema de flujo y de los procesos de mineralización que tienen lugar, se incluyen en la tabla 6.2.

6.3.1. Relación r_{Na}/r_{Cl}

Para el agua de lluvia la relación sodio/cloruros (dada como r_{Na}/r_{Cl} , $r = \text{meq/l}$) toma valores próximos a 1, similar a la del agua del mar ($r_{Na}/r_{Cl} = 0.9$).

Los materiales volcánicos liberan sodio en los procesos de meteorización, en mayor o menor proporción según se trate de basaltos alcalinos o plagioclásicos. Por tanto valores de esta relación próximos a 1 indican que el agua apenas ha interactuado con el terreno por el que ha circulado, y los valores superiores a este valor son debidos a la meteorización de la roca.

Así, en el primer caso, se puede citar la muestra nº 10 ($r_{Na}/r_{Cl} = 0.89$), tomada en la galería Caldero de Los Tilos, procedente de un aporte cuyo caudal presenta variaciones estacionales (puede tratarse de un acuífero colgado en el que el tiempo de permanencia del agua es pequeño).

También presentan valores próximos a 1 las muestras números 7 y 8 de la galería Girineldos (con valores respectivos de la relación r_{Na}/r_{Cl} de 1.16 y 1.20), en la que existe un importante tramo piroclástico intensivamente intruido por diques, que potencian la circulación rápida del agua; la muestra nº 16 de la galería Risco Blanco ($r_{Na}/r_{Cl} = 1.16$), en la que el agua surge a favor de un dique de buzamiento vertical y la muestra nº 29 de la galería La Faya ($r_{Na}/r_{Cl} = 1.23$) tomada en un rezume que corresponde a un dique de buzamiento subvertical (75°), que de nuevo indica una velocidad de flujo elevada.

Por último, hay que destacar los términos extremos en los que la relación r_{Na}/r_{Cl} toma valores altos. En este caso se encuentran las muestras nº 4, 30, 20, 21 y 5, con valores respectivos de la relación de 7.19, 5.97, 4.37, 3.30 y 3.08. En todos los casos las muestras se asocian con zonas profundas o tiempos de permanencia elevados.

Tabla 6.2. Relaciones iónica más significativas de las aguas subterráneas de La Palma

MUESTRA	r Na/r Cl	r Mg/r Ca	r (Na + K - Cl)/r (Ca + Mg)	r SO/r Cl
1	2.31	0.47	0.58	0.12
2	1.85	0.66	0.41	0.30
3	2.77	0.55	0.70	0.15
4	7.19	0.55	4.74	0.25
5	3.08	1.10	0.72	0.25
6	1.54	0.82	0.32	0.09
7	1.16	0.94	0.15	0.06
8	1.20	0.94	0.15	0.08
9	1.39	0.82	0.34	0.15
10	0.89	0.96	-0.03	0.08
11	1.54	1.10	0.28	0.18
12	2.23	0.94	0.61	0.16
13	2.86	0.82	0.91	0.11
14	2.20	0.62	0.53	0.11
15	1.85	0.47	0.33	0.30
16	1.16	0.62	0.13	0.09
17	1.39	1.10	0.26	0.15
18	1.37	0.82	0.20	0.16
19	2.16	0.82	0.59	0.30
20	4.37	0.41	2.38	0.25
21	3.30	0.66	1.35	0.21
22	2.93	1.32	1.16	0.15
23	1.88	0.82	0.55	0.16
24	1.88	0.55	0.59	0.16
25	1.73	0.71	0.41	0.18
26	1.32	0.62	0.51	0.29
27	2.09	1.37	0.38	0.16
28	1.54	0.94	0.29	0.12
29	1.23	0.62	0.18	0.15
30	5.97	2.85	1.09	0.61

La muestra nº 4, tomada en la galería Roque de Los Arboles, procede de un tramo en el que el terreno está constituido fundamentalmente por conglomerados con cantos muy heterométricos y matriz areno-arcillosa, situado en la base de la Serie I (ver capítulo 3, apartado 3.1.). La orientación de los diques atravesados en esta galería es subhorizontal (permite que el agua permanezca en el terreno durante un período de tiempo elevado).

La muestra nº 30 procede de la galería El Remo, en la que no se corta ningún dique a lo largo de todo el trazado. La galería está emboquillada en una colada escoriácea correspondiente a la Serie Reciente, pero la muestra procede del final, en que se atraviesan las coladas basálticas de la Serie Antigua, que presentan una marcada disyunción columnar.

En la galería La Madera (donde se tomó la muestra nº 21), aparece el Complejo Basal al final del trazado. El agua procede de un aporte difuso a través del suelo, en el contacto con los materiales impermeables del Complejo Basal.

6.3.2. Relación rMg/rCa

La relación magnesio/calcio (dada como rMg/rCa; $r = \text{meq/l}$) está en buena parte controlada litológicamente. Para basaltos toma normalmente valores superiores a 1 si se produce una disolución congruente de los minerales existentes en el medio (CUSTODIO y MANZANO, 1992). De hecho, la mayor parte de las muestras analizadas tienen valores comprendidos entre 0.8 y 1.4, aunque responden a la alteración de materiales basálticos. En la muestra nº 30 la relación rMg/rCa toma un valor de 2.85, debido a la mayor salinidad del agua, en la que el aumento de la concentración de Ca está limitado por la solubilidad de la calcita (cuando se realizó el muestreo el agua estaba estancada). En el cálculo realizado con el programa de equilibrio químico y especiación WATEQF, la muestra nº 30 está sobresaturada en calcita y aragonito (los valores de logIAP/KT son de 0.79 y 0.64 respectivamente).

Los valores más bajos de la relación se asocian unas veces con una circulación rápida del agua debida a la profusión de diques, que aumenta la velocidad de flujo y disminuye el tiempo de contacto, y otras, con la presencia de materiales secundarios, en especial calcita.

6.3.3. Relación $r(\text{Na} + \text{K} - \text{Cl})/r(\text{Ca} + \text{Mg})$

Al analizar la relación $r(\text{Na} + \text{K} - \text{Cl})/r(\text{Ca} + \text{Mg})$ (en sentido estricto, la expresión correcta sería $(r\text{Na} + r\text{K} - r\text{Cl})/(r\text{Ca} + r\text{Mg})$), los valores próximos a cero o ligeramente negativos indican escasa relación del agua de lluvia con los silicatos del terreno. Así, se encuentran las muestras nº 10, 16, 7, 8 y 29 con valores respectivos de -0.03, 0.13, 0.15, 0.15 y 0.18. Estas muestras coinciden con las analizadas en el apartado 6.3.1. para valores bajos de la relación $r\text{Na}/r\text{Cl}$, correspondientes a aguas que apenas han interactuado con el terreno por el que han circulado. Son aguas tomadas a poca profundidad, o procedentes de vías de circulación rápida (diques con buzamientos verticales o subverticales).

Un valor alto de la relación $r(\text{Na} + \text{K} - \text{Cl})/r(\text{Ca} + \text{Mg})$, unido a valores elevados de $r\text{Na}/r\text{Cl}$ indica que la circulación del agua es lenta, produciéndose una marcada interacción roca-agua, en la que el sodio se disuelve con preferencia al calcio y magnesio. Valores elevados de esta relación se obtienen en las muestras nº 4, 20 y 21 citadas en el apartado 6.3.1. relacionadas con zonas de circulación profunda o tiempos de permanencia elevados.

6.3.4. Relación $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$

Los sulfatos pueden tener un origen meteórico, marino, o proceder de los materiales del terreno.

En principio cabe esperar que la mayor parte del sulfato sea de origen atmosférico, dominando el origen marino a cotas bajas. Sin embargo, no siempre se puede despreciar el aporte de la roca, en especial del Complejo Basal, donde pueden existir sulfuros primarios o de asimilación de agua marina en las etapas de enfriamiento de efusiones submarinas.

Los valores relativamente altos de la relación $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ (superiores a 0.25) pueden estar relacionados con la oxidación de sulfuros aportados por el terreno.

En las aguas analizadas se encuentran valores altos de la relación $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ para las muestras nº 4, 5 y 20 (con $r\text{SO}_4/r\text{Cl} = 0.25$), la muestra nº 26 (con un valor de la relación de 0.29), las muestras nº 2, 15 y 19 ($r\text{SO}_4/r\text{Cl} = 0.30$) y por último la muestra nº 30 ($r\text{SO}_4/r\text{Cl} = 0.61$). Estos valores elevados de la relación iónica $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ pueden indicar por tanto, que en estas muestras los sulfatos proceden de la oxidación de sulfuros existentes en el medio.

7. CONTENIDO EN ISOTOPOS ESTABLES DEL AGUA SUBTERRANEA

7. CONTENIDO EN ISOTOPOS ESTABLES DEL AGUA SUBTERRANEA

Debido a que tanto el O-18 como el Deuterio se encuentran en la naturaleza en pequeñas proporciones, por convenio los resultados analíticos de ambos parámetros se expresan en valores relativos de desviación (δ) del contenido de una muestra respecto a un patrón, en %:

$$\delta D = \frac{{}^2H / {}^1H_{muestra} - {}^2H / {}^1H_{patrón}}{{}^2H / {}^1H_{patrón}} \times 1000$$

$$\delta D = \frac{{}^{18}O / {}^{16}O_{muestra} - {}^{18}O / {}^{16}O_{patrón}}{{}^{18}O / {}^{16}O_{patrón}} \times 1000$$

Los principales patrones utilizados como referencia son : SMOW (Standard Mean Ocean Water), V-SMOW (mezcla de aguas con composición isotópica similar al SMOW producida en Viena), SLAP (Standard Light Antarctic Precipitation) y GISP (Greenland Ice Sheet Precipitation).

7.1. Resultados analíticos

En los análisis efectuados se han determinado los isótopos estables de los elementos que constituyen la molécula del agua; es decir se han cuantificado las relaciones:

$$\delta^{18}O \text{ ---> } {}^{18}O / {}^{16}O$$

$$\delta D \text{ ---> } {}^2H / {}^1H$$

en 30 muestras de aguas subterráneas procedentes de galerías, y dos de agua de lluvia tomadas por medio de un pluviómetro situado a 1400 m de altitud s.n.m. (muestra nº 31) y de un captaniblas situado a 1373 m de altitud s.n.m. (muestra nº 32).

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Geoquímica de Isótopos Estables del Instituto Estación Experimental del Zaidín (Granada), perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.).

Los resultados analíticos se incluyen en las tablas 7.1. y 7.2., y en el anexo 3. Los valores de las relaciones $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ están expresados en ‰ respecto al patrón de referencia utilizado (SMOW).

7.1.1. Validez de los resultados

Para contrastar los resultados aportados por el laboratorio de análisis isotópico al que se remitieron las muestras de agua, se recogieron 3 muestras por duplicado, que se analizaron además en la Sección de Hidrología Isotópica del Organismo Internacional de Energía Atómica de Viena.

En la tabla 7.3. se incluyen los resultados proporcionados por dicho laboratorio, y en las figuras 7.1. y 7.2. se han representado las correlaciones entre los resultados de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ aportados por ambos laboratorios para las 3 muestras de control.

En la figura 7.1., correspondiente a la correlación entre valores de $\delta^{18}\text{O}$, se observa que los valores están muy próximos a la línea de coincidencia total. Cabe mencionar que la muestra 6 presenta un enriquecimiento en O-18 en la muestra analizada en Viena, que puede ser el resultado de procesos de evaporación producidos durante su almacenamiento. Este enriquecimiento también se observa en los valores de Deuterio en la figura 7.2.

Tabla 7.1. Valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las aguas subterráneas de la isla de la Palma.

MUESTRA N ^o	$\delta^2\text{H}_{(\text{SMOW})}$	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$
1	-40.0	-6.57
2	-27.0	-6.17
3	-35.2	-6.51
4	-34.7	-6.26
5	-41.8	-6.18
6	-33.5	-6.07
7	-23.0	-5.13
8	-31.7	-5.87
9	-23.7	-5.05
10	-19.9	-4.03
11	-20.2	-5.38
12	-23.0	-6.13
13	-37.5	-6.08
14	-32.2	-5.72
15	-39.4	-6.38
16	-29.1	-5.49
17	-27.4	-5.38
18	-25.6	-5.58
19	-33.0	-6.30
20	-29.1	-6.06
21	-30.6	-5.87
22	-21.1	-5.01
23	-19.8	-4.81
24	-20.0	-5.79
25	-23.0	-5.62
26	-15.1	-3.68
27	-17.3	-4.53
28	-30.6	-5.86
29	-27.6	-5.25
30	-26.7	-4.54

Tabla 7.2. Valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las precipitaciones locales.

MUESTRA Nº	PROCEDENCIA	ALTITUD (m)	$\delta^2\text{H}_{(\text{SMOW})}$	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$
31	Pluviómetro	1400	-13.1	-2.51
32	Captanieblas	1373	-4.0	-1.36

Tabla 7.3. Valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las muestras de agua analizadas en los laboratorios del CSIC y de Viena.

MUESTRA Nº	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)		$\delta^2\text{H}$ (‰)	
	VIENA	CSIC	VIENA	CSIC
1	-6.59	-6.57	-37.4	-40.0
3	-6.63	-6.51	-36.5	-35.2
6	-5.79	-6.07	-31.0	-33.5

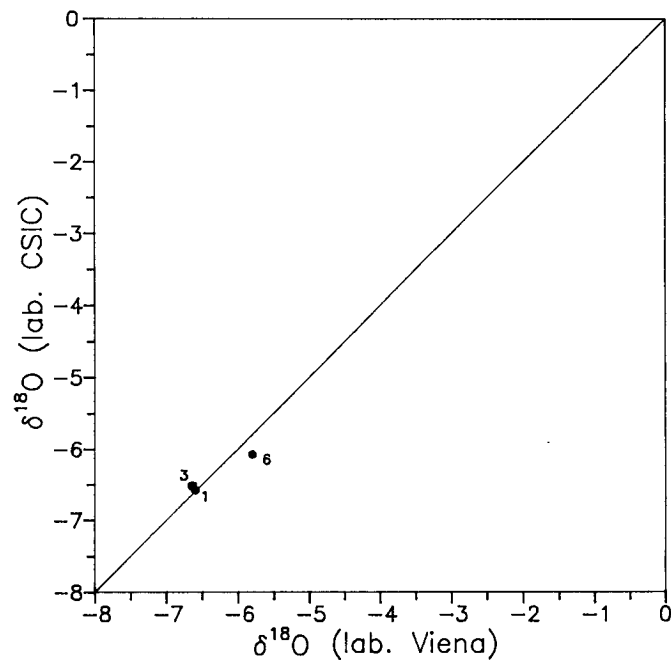


Figura 7.1. Correlaciones entre los valores de O-18 aportados por los laboratorios del CSIC y Viena.

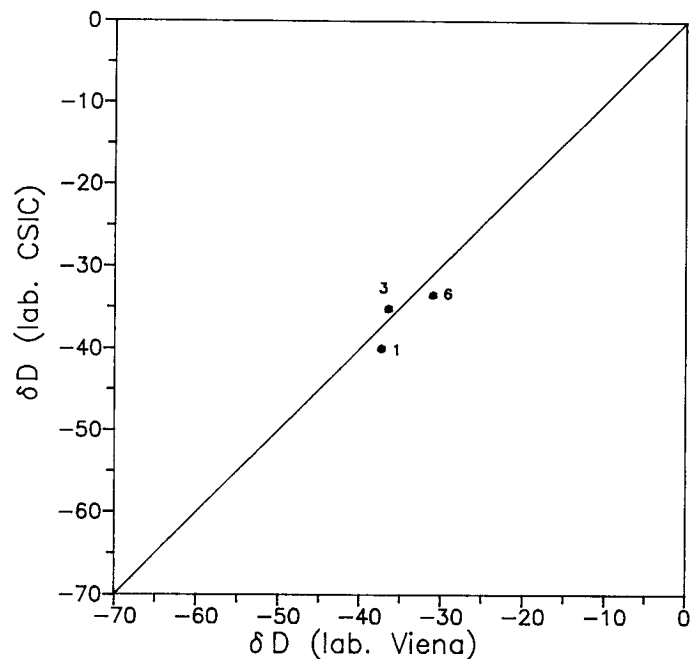


Figura 7.2. Correlaciones entre los valores de D aportados por los laboratorios del CSIC y Viena.

7.2. Composición isotópica de las precipitaciones locales

La composición isotópica del agua de lluvia, en cada zona, depende de factores climáticos y geográficos, tales como latitud, temperatura, estación del año, altura, distancia al litoral, cantidad, etc. (DELGADO y NUÑEZ, 1990). Conocer la influencia que ejercen cada uno de estos factores es fundamental para entender el ciclo hidrológico.

En la figura 7.3. se han representado los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las precipitaciones locales. Responden a la ecuación:

$$\delta^2\text{H} = 7.91\delta^{18}\text{O} + 6.76$$

Puesto que sólo se han utilizado dos puntos para trazar la recta, conviene contrastar estos datos con otros obtenidos en estaciones de control situadas en situaciones equivalentes (latitud, longitud, pluviometría, temperatura y distancia al mar similares) (IAEA, 1981).

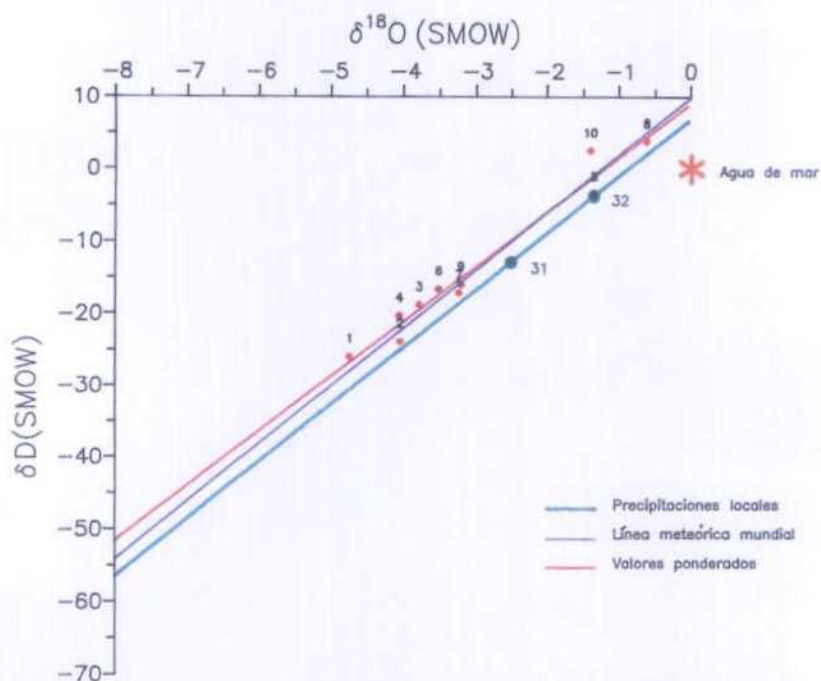


Figura 7.3. Composición isotópica de las precipitaciones locales en relación con la línea meteórica mundial y con la obtenida a partir de valores medios ponderados en estaciones próximas.

Para ello se dispone de la base de datos global de "Isótopos en Precipitación" de la IAEA*/WMO** que reúne los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ procedentes de 422 estaciones distribuidas por todo el mundo. En la base se incluyen además otros datos de interés (precipitación, temperatura). Los datos son mensuales, y están actualizados hasta junio de 1993.

Del conjunto de estaciones se han seleccionado aquellas que se pueden considerar representativas. En la tabla 7.4. se incluyen los nombres de estas estaciones, su situación y el número de medidas disponible en las series con que cuenta la base de datos. En la figura 7.4. se puede observar la localización de dichas estaciones.

* International Atomic Energy Agency

** World Meteorological Organization

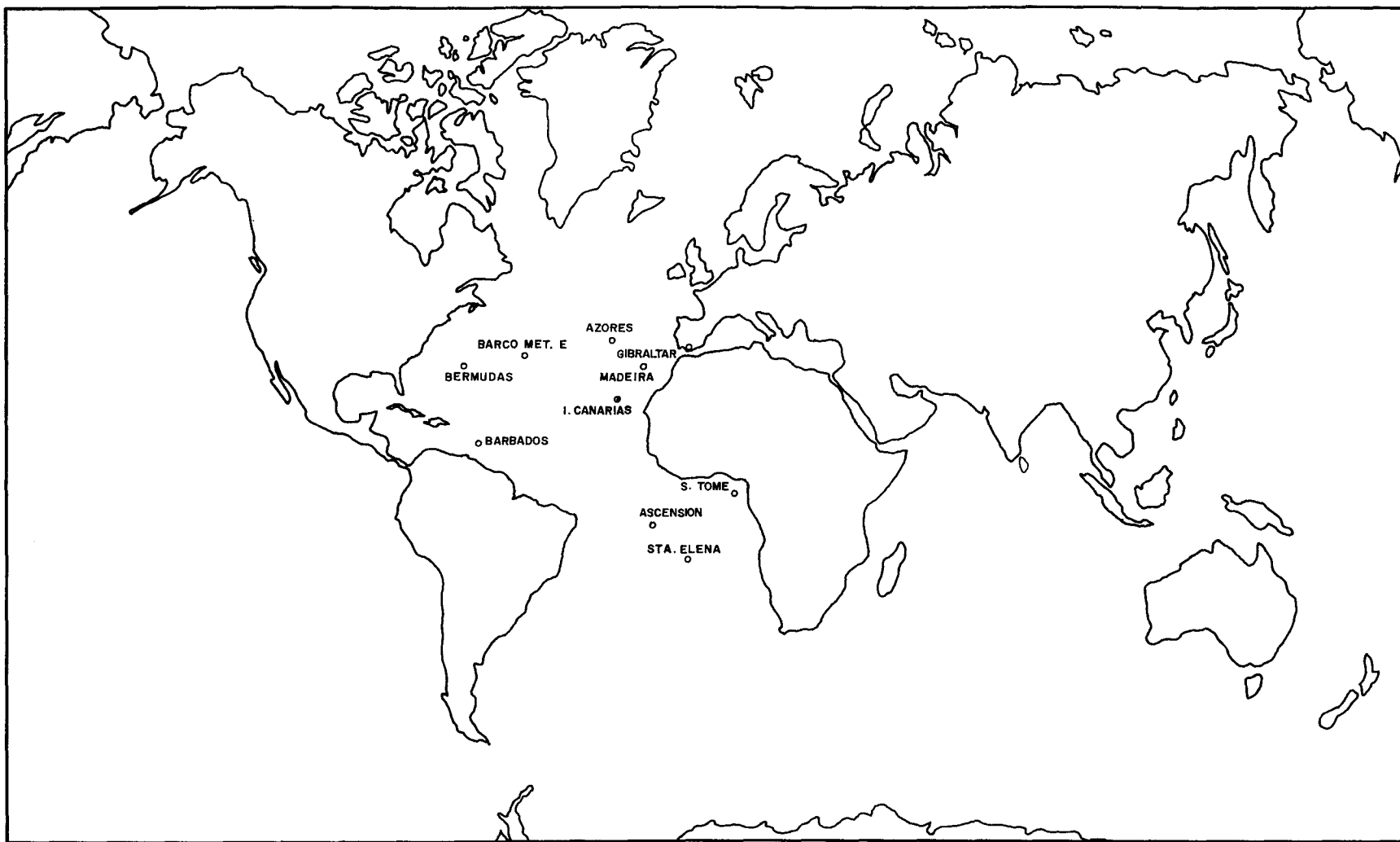


Figura 7.4. Situación de las estaciones utilizadas para obtener la relación $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ en las precipitaciones

Tabla 7.4. Estaciones utilizadas para obtener la relación $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ en las precipitaciones

Estación	Nº	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Período de medida (mes/año - mes/año)	Nº de medidas
Gibraltar	1	36.15 N	5.35 W	5	10/61 - 12/91	161
Angra do Heroísmo (Azores)	2	38.40 N	27.13 W	74	06/88 - 12/90	30
Funchal (Madeira)	3	32.38 N	16.54 W	58	06/88 - 12/92	46
Ponta Delgada (Azores)	4	37.77 N	25.65 W	175	03/62 - 12/90	95
Barbados	5	13.04 N	59.29 W	50	02/61 - 12/91	209
Bermuda	6	32.37 N	64.68 W	6	01/62 - 12/65	44
WeatherShip E	7	35.00 N	48.00 W	0	01/62 - 06/73	100
Ascension Island (O. Atlántico)	8	7.92 S	14.42 W	15	12/61 - 12/91	83
Sao Tome (O. Atlántico)	9	0.38 N	6.72 E	8	01/62 - 12/76	93
St. Helena (O. Atlántico)	10	15.97 S	5.70 W	604	05/62 - 12/75	73

Una vez elegidas las estaciones a utilizar, se han calculado los valores medios de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$, ponderados con las precipitaciones mensuales para cada estación. En la tabla 7.5. se incluyen estos valores ponderados, que se representan en la figura 7.3. relacionados con los valores de precipitaciones locales.

Tabla 7.5. Valores medios de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ ponderados con la precipitación.

Estación	Nº	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$
Gibraltar	1	- 25.94	- 4.74
Angra do Heroísmo (Azores)	2	- 23.92	- 4.04
Funchal (Madeira)	3	- 18.82	- 3.78
Ponta Delgada (Azores)	4	- 20.32	- 4.05
Barbados	5	- 3.64	- 1.35
Bermuda	6	- 16.65	- 3.51
Weathership E	7	- 17.18	- 3.23
Ascension Island (O. Atlántico)	8	+ 3.76	- 0.62
Sao Tome (O. Atlántico)	9	- 16.01	- 3.20
St. Helena (O. Atlántico)	10	+ 2.47	- 1.40

La recta de ajuste de los datos incluidos en la tabla 7.5. responde a la ecuación:

$$\delta^2\text{H} = 7.57 \delta^{18}\text{O} + 9.04$$

En la figura 7.3. se incluye también la recta que representa la composición media mundial del agua de lluvia dada por Craig:

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$$

y la composición isotópica del agua del mar ($\delta^2\text{H} = 0$, $\delta^{18}\text{O} = 0$).

Como se observa en la figura 7.3., la línea correspondiente al ajuste de los datos ponderados y la línea meteórica mundial, difieren poco entre sí, tanto en pendiente (7.57 y 8 respectivamente), como en exceso de Deuterio (9.04 y 10 respectivamente).

Se observa un ligero desplazamiento en la composición isotópica de las precipitaciones locales respecto a la línea meteórica de referencia, hacia valores de $\delta^{18}\text{O}$ mayores (muestras enriquecidas en $\delta^{18}\text{O}$). Este desplazamiento puede ser debido a diversas causas:

- distancia al mar
- época de muestreo
- procesos de intercambio isotópico agua-aire
- "efecto cantidad"

La escasa distancia al mar, hace que el vapor generado sea más pesado, con un enriquecimiento en $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ (valores menos negativos) en el agua de lluvia local, respecto a la línea meteórica de referencia. Las muestras de lluvia y niebla se tomaron en puntos situados a escasa distancia de la costa (7 y 6.5 km respectivamente).

Además se puede considerar que los valores medidos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ corresponden a un episodio de lluvia de mayor temperatura (el muestreo se realizó en mayo). La ecuación de la recta de ajuste de los valores medios de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ del mes de mayo (sin ponderar con la precipitación), para las estaciones mencionadas en la tabla 7.4. tiene la forma:

$$\delta^2\text{H} = 7.38 \delta^{18}\text{O} + 7.47$$

Esta recta no difiere apenas de la obtenida con valores mensuales ponderados con la precipitación ($\delta^2\text{H} = 7.57 \delta^{18}\text{O} + 9.04$), pero, como cabía esperar, los valores locales se ajustan más a ella (fig. 7.5.).

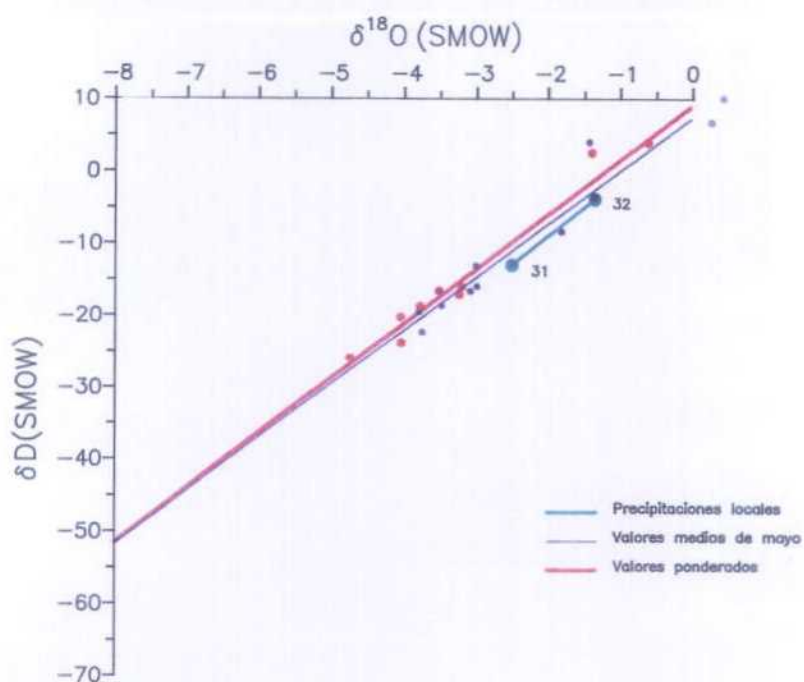


Figura 7.5. Composición isotópica de las precipitaciones locales en relación con la composición de las precipitaciones en las estaciones de referencia (valores medios de mayo y valores medios ponderados con la precipitación)

En la tabla 7.6. se recogen los valores medios de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ del mes de mayo en las estaciones de referencia. Se incluyen también los valores de precipitación y temperatura.

Tabla 7.6. Valores medios de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, precipitación y temperatura correspondientes al mes de mayo.

Estación	Nº	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	P (mm)	T (°C)
Gibraltar	1	- 18.65	- 3.49	42.1	18.5
Angra do Heroísmo	2	- 16.00	- 3.01	78.5	16.0
Funchal	3	- 8.40	- 1.83	10.7	17.9
Ponta Delgada	4	- 13.10	- 3.02	55.2	16.2
Barbados	5	+ 6.73	- 0.24	36.9	27.2
Bermuda	6	- 16.60	- 3.10	78.5	21.5
Weathership E	7	- 22.30	- 3.76	42.0	18.7
Ascension Island	8	+ 10.08	+ 0.40	10.8	23.7
Sao Tome	9	- 19.52	- 3.81	153.1	25.8
St. Helena	10	+ 3.97	- 1.45	68.0	18.0

En la isla de La Palma los valores medios de precipitación y temperatura correspondientes al mes de mayo son de 12.2 mm y de 16.3°C respectivamente. En la tabla 7.6. se observa que las estaciones con valores más próximos de estos parámetros son Funchal en Madeira (P = 10.7 mm, T = 17.9°C) y la isla de Ascensión (P = 10.8 mm, T = 23.7°C).

Otro mecanismo que conduce a un enriquecimiento en isótopos pesados del agua de las precipitaciones locales se produce como consecuencia de procesos de intercambio isotópico agua-aire. En las zonas cercanas al litoral, las gotas de lluvia intercambian isotópicamente con el aire, que tiende a estar en equilibrio isotópico con el agua del mar (FRITZ y FONTES, 1988).

En general se observa que, cuando el episodio lluvioso es de poca intensidad, el agua de dicha precipitación está más enriquecida en isótopos pesados que en aquellos casos en que la lluvia ha sido intensa (IAEA, 1983). A este hecho se le denomina "efecto cantidad". Hay diversas razones que explican este efecto: por una parte, el enriquecimiento isotópico producido por la evaporación de las gotas de lluvia desde su desprendimiento de la nube hasta su caída en el suelo, y por otra, el intercambio isotópico producido entre las gotas que caen y el vapor atmosférico.

Así, en la figura 7.3. se observa como la composición isotópica del agua procedente del captanieblas (muestra núm. 32) está enriquecida en O-18 y D con respecto al agua de lluvia procedente del pluviómetro (muestra núm. 31), acercándose más a la composición del agua del mar.

El agua del captanieblas está sometida a procesos de evaporación-condensación de mayor entidad. Su composición isotópica tiende a equilibrarse con mayor facilidad con la del aire, ya que las gotas de agua han estado en contacto con el aire más tiempo, a lo que se suma el "efecto cantidad", ya que la lluvia horizontal o niebla se puede considerar un episodio lluvioso de menor intensidad que la lluvia en sí.

7.3. Composición isotópica de las aguas subterráneas

Los contenidos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las muestras de agua subterránea oscilan entre -6.57 y -3.68 para $\delta^{18}\text{O}$, y entre -41.8 y -15.1 para $\delta^2\text{H}$.

Normalmente los valores de ambos parámetros se interpretan juntos, relacionándolos con los correspondientes al agua de las precipitaciones, para estudiar el origen de las aguas subterráneas (es decir, si proceden de aguas meteóricas, marinas, congénitas, etc.).

En la figura 7.6. se ha representado la composición isotópica de las aguas subterráneas en relación a la recta correspondiente al contenido en $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las precipitaciones que se incluyen en la tabla 7.5.

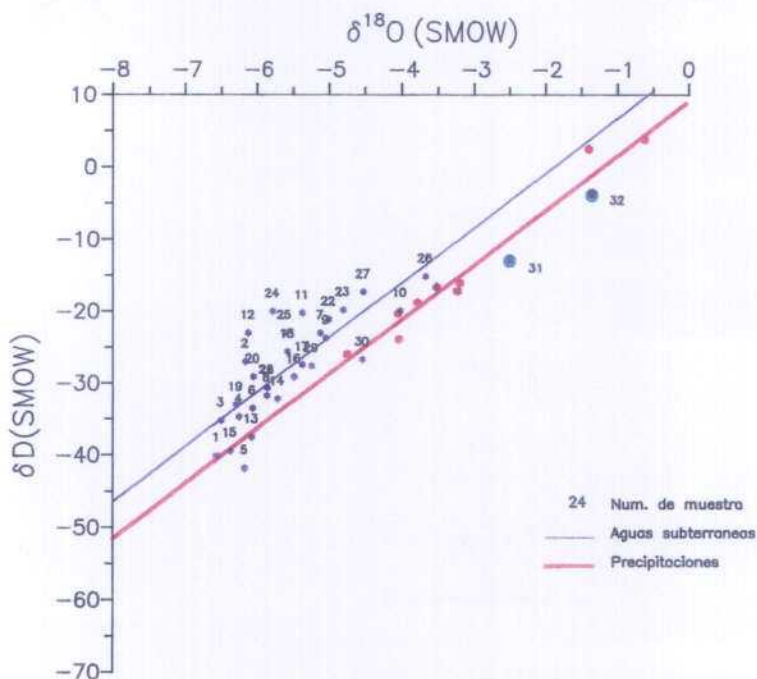


Figura 7.6. Valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de las aguas subterráneas en relación con la composición isotópica de las precipitaciones

La ecuación de la recta de ajuste para las aguas subterráneas es:

$$\delta^2\text{H} = 7.59 \delta^{18}\text{O} + 14.37$$

Esta recta tiene una pendiente similar a la de ajuste de las precipitaciones, aunque difiere en el exceso de deuterio (ordenada en el origen).

Las muestras correspondientes al agua subterránea se desplazan hacia valores más ligeros de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$. En cualquier caso, se encuentran lejos de la composición isotópica del agua del mar ($\delta^2\text{H} = 0$, $\delta^{18}\text{O} = 0$). Son por tanto, aguas procedentes de la infiltración del agua de lluvia, que en el momento de su infiltración tenía una composición isotópica diferente a la de la lluvia actual, o bien la variación encontrada es resultado de los procesos físico-químicos que han tenido lugar en el acuífero, que han modificado su contenido isotópico.

Así pues, el empobrecimiento en isótopos pesados que presentan se puede explicar en el marco de dos hipótesis de partida, y dentro de ellas, la disminución de isótopos pesados puede ser el resultado de diversas causas.

1. El contenido isotópico del agua de infiltración no cambia en el acuífero. La composición observada en el agua subterránea puede ser el resultado de:

- las aguas se infiltraron a mayor altitud.
- las condiciones climáticas eran más frías que las correspondientes a la zona donde hoy se encuentran.

2. El contenido isotópico cambia a lo largo del sistema de flujo. En este caso, la composición observada es el resultado del intercambio isotópico entre el agua de infiltración y los materiales con los que entra en contacto, a lo largo del sistema de flujo. Este intercambio puede tener lugar:

- con minerales de contenido isotópico ligero.
- con CO_2 endógeno (el CO_2 de origen endógeno es fundamentalmente C^{18}O_2).

Se han observado reacciones de intercambio isotópico en zonas en las que el agua subterránea alcanza grandes profundidades, ya que este tipo de procesos requiere temperaturas elevadas. Sin embargo, en los trabajos de campo realizados durante el muestreo de las galerías, no se observó en ninguna de ellas aumento de temperatura ni tampoco desprendimiento de gases.

Se puede considerar, por tanto, que los procesos de intercambio isotópico no son los responsables del empobrecimiento en $\delta^{18}\text{O}$ observado en las aguas subterráneas analizadas en la isla de La Palma, o al menos no hay evidencias que lo indiquen.

Por otra parte, la composición isotópica de los basaltos generalmente da valores elevados de $\delta^{18}\text{O}$, comprendidos entre $\delta^{18}\text{O} = + 5.5\text{‰}$ y $\delta^{18}\text{O} = + 6.5\text{‰}$, que en caso de interaccionar con el agua subterránea, conduciría a un enriquecimiento en isótopos pesados (IAEA, 1981 b).

En base a los resultados obtenidos, cabe pensar que la velocidad de flujo del agua subterránea es elevada, favorecida por la presencia de diques con buzamientos verticales o subverticales, que actúan como vías preferentes de drenaje en la mitad norte de la isla. Así pues, el empobrecimiento en isótopos pesados del agua subterránea no parece ser debido al cambio en las condiciones climáticas. Es decir, que se hubieran infiltrado en épocas climáticas más frías que las actuales, puesto que su composición química corresponde a aguas meteóricas poco evolucionadas.

La explicación más coherente con los datos obtenidos hay que buscarla en las características orográficas particulares que presenta la isla de La Palma, con unas variaciones acusadas en la altitud (en una distancia de unos 10 km se pasa desde cotas de 0 m s.n.m en la costa, a otras de 2426 m s.n.m en el Roque de Los Muchachos).

El empobrecimiento en isótopos pesados que presentan las aguas subterráneas puede ser debido a que correspondan a aguas que se infiltraron a una altitud mayor.

7.4. Mecanismos de salinización

El mecanismo de la adquisición de sales del agua se puede deducir, generalmente, a partir del estudio de las características químicas, analizando las variaciones que experimentan algunas relaciones iónicas y la evolución de los índices de saturación de los principales minerales existentes en la fase sólida, sin embargo hay casos en los que es difícil, si no imposible (aguas muy salinas, en las que se alcanza el producto de solubilidad de las principales sales disueltas, o aguas muy diluidas, en las que con frecuencia no se puede determinar a partir de la composición química, si el contenido en sales se debe a procesos de evaporación o de disolución de sales existentes en el medio).

La utilización de los isótopos estables del oxígeno e hidrógeno permiten distinguir entre estos dos mecanismos básicos de salinización:

- Disolución-lixiviado sin evaporación, y por tanto sin enriquecimiento isotópico
- Evaporación, con enriquecimiento en ^{18}O y ^2H .

En la figura 7.7. se representa el contenido en $\delta^{18}\text{O}$ frente a conductividad.

Las aguas subterráneas tienen una composición muy homogénea, con conductividades inferiores a 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el 97% de los casos. En la figura 7.7. no se observa relación entre el contenido en $\delta^{18}\text{O}$ y la conductividad del agua, lo que apoya la hipótesis de un mecanismo de salinización por disolución-lixiviado, sin enriquecimiento isotópico frente a la evaporación.

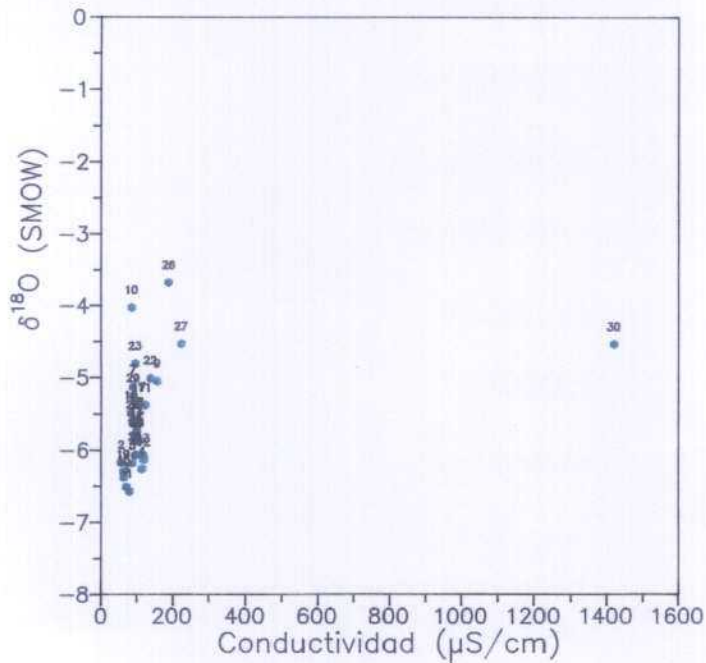


Figura 7.7. Relación entre el contenido en $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas subterráneas y la conductividad.

7.5. Delimitación de las zonas de recarga

Dado que la composición isotópica del agua de lluvia es diferente según la altitud a la que se haya producido, considerando el gradiente de altitud para el contenido en $\delta^{18}\text{O}$ y comparando con éste los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas subterráneas, se puede estimar la altitud a la que se recargan estas aguas, partiendo de la hipótesis de que el ^{18}O es conservativo, es decir que su composición isotópica no se ha modificado apreciablemente.

En la figura 7.8. se ha representado el contenido en ^{18}O de las aguas subterráneas frente a la altitud del punto de emergencia del agua en la galería. También se ha dibujado la recta que corresponde al gradiente de altitud dada por Veeger (1991), en CUSTODIO y MANZANO (1992), para la isla de La Palma:

$$\delta^{18}\text{O} = -1.81 - 0.0024 z$$

en la que $\delta^{18}\text{O}$ está en ‰ y z es la altitud en m.

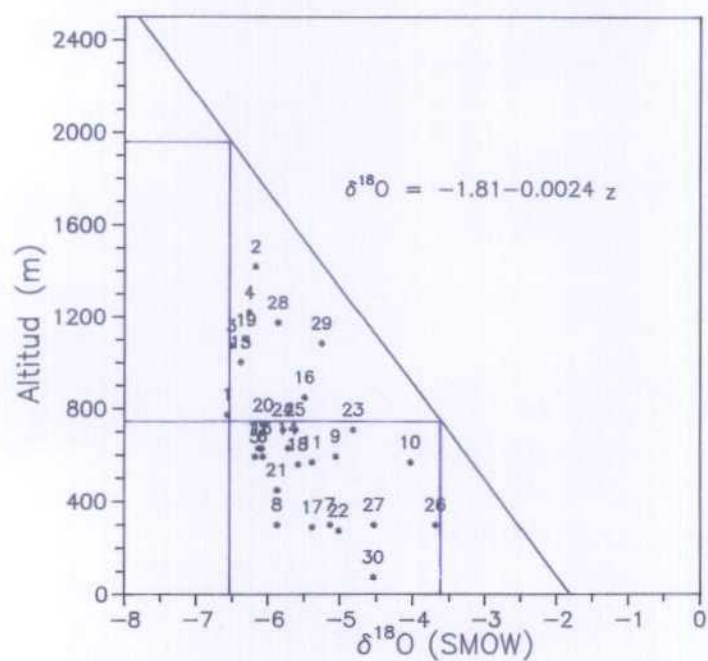


Figura 7.8. Relación entre el contenido en O-18 de las aguas subterráneas y el gradiente de altitud

Respecto a esta recta, todas las muestras se sitúan a la izquierda, de modo que, proyectando sobre la recta su composición isotópica, les corresponde un rango de altitud de recarga comprendido entre 800 m y 2000 m.

Para obtener el gradiente de altitud no se han utilizado los valores de $\delta^{18}\text{O}$ del agua de lluvia, ya que al tratarse únicamente de dos puntos, la validez de los datos obtenidos sería cuestionable.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En mayo de 1992 se realizó una campaña de muestreo químico e isotópico tanto de las aguas subterráneas, como del agua de lluvia y niebla en la isla de La Palma. Las muestras de agua subterránea proceden de 22 galerías situadas fundamentalmente en la mitad norte de la isla.

Las galerías cortan materiales volcánicos constituidos por el apilamiento de centenares de coladas (Basaltos Antiguos de las Series I y II) procedentes de erupciones subaéreas que tuvieron lugar a comienzos del Mioceno, y dieron lugar a la edificación de la isla como resultado de continuas efusiones magmáticas fisurales.

El agua subterránea se encuentra formando un acuífero libre, en el que el zócalo impermeable lo constituye el Complejo Basal (rocas plutónicas básicas y ultrabásicas premiocenas que están fuertemente inyectadas por diques de diversos orígenes).

A partir de la composición química e isotópica de las aguas analizadas se puede concluir que:

- Las aguas subterráneas procedentes de la mitad norte de la isla tienen una baja salinidad, con conductividades que oscilan entre 56 y 223 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El hecho de que presenten estos valores bajos de conductividad (están menos mineralizadas que las aguas subterráneas de las otras islas del archipiélago), se debe a la elevada pluviometría, junto a la existencia de un rápido flujo descendente (permeabilidad vertical dominante) que hace que el tiempo de residencia sea pequeño, insuficiente en muchos casos para que se produzcan interacciones agua-roca apreciables.
- En la mitad sur de la isla, los fenómenos volcánicos producidos (coladas basálticas del Cuaternario reciente y erupciones históricas), hacen que se intensifiquen los procesos de mineralización, aumentando así la salinidad de las aguas muestreadas. Los mecanismos por los cuales adquieren la salinidad que presentan se debe a procesos de disolución-lixiviado.

- El enriquecimiento isotópico que presentan las precipitaciones locales, respecto a la composición isotópica media de la lluvia, analizada en estaciones situadas en condiciones equivalentes, parecer ser debido a procesos de intercambio isotópico agua-aire. El agua procedente del captan nieblas tiene contenidos más altos en O-18 y H-2 (valores menos negativos) que la procedente del pluviómetro, como consecuencia de haber sufrido un proceso de evaporación más intenso, unido al efecto de menor cantidad de precipitación.
- Los contenidos en O-18 y H-2 de las muestras de aguas subterráneas oscilan entre - 6.57 y - 3.68 para $\delta^{18}\text{O}$ y entre - 41.8 y - 15.1 para $\delta^2\text{H}$. El exceso medio de deuterio es elevado (+ 14.37).

Isotópicamente, las aguas subterráneas muestran un empobrecimiento en isótopos pesados, respecto a las precipitaciones. La recta de regresión $\delta^2\text{H} = f(\delta^{18}\text{O})$ de las aguas subterráneas es prácticamente paralela a la recta de precipitaciones IAEA/WMO, aunque desplazada hacia valores más negativos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$. Este empobrecimiento en isótopos pesados indica que son aguas que se infiltraron a altitudes muy superiores a las de captación actual. A partir de la recta de regresión $\text{Altitud} = f(\delta^{18}\text{O})$ de las aguas muestreadas, se estima que las áreas de recarga respectivas se sitúan a altitudes comprendidas entre los 800 y los 2000 m, o incluso superiores a 2000 m si tenemos en cuenta el posible enriquecimiento en isótopos pesados producido durante la recarga del agua de lluvia, como consecuencia de la mezcla con agua de la zona no saturada y con agua de niebla (ambas más pesadas como resultado de procesos de evaporación).

Por tanto, podemos concluir que las aguas subterráneas de la isla de La Palma son aguas de origen meteórico, cuya precipitación se produjo en condiciones de no-equilibrio, con gran influencia oceánica y a temperatura elevada, lo que justifica el elevado exceso de deuterio observado. Su velocidad de flujo es elevada y está favorecida por la presencia de abundantes diques verticales o subverticales. Son aguas de precipitación reciente y poco evolucionadas, como demuestra su baja mineralización.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos, sería recomendable llevar a cabo una segunda etapa del estudio, que permita profundizar en el conocimiento tanto de las características del agua subterránea en la isla de La Palma, como en el funcionamiento hidrodinámico del acuífero, que contemple entre otras:

- La realización de campañas de muestreo de las precipitaciones, con el fin de poder determinar la recta $\delta^2\text{H} = f(\delta^{18}\text{O})$, que define la composición isotópica de la precipitación local. Esto es fundamental para caracterizar los *input* o entradas al sistema hidrogeológico con fiabilidad, así como para determinar las zonas de recarga.
- La realización de dataciones de las aguas subterráneas, mediante análisis isotópicos de H-3 y C-14 en muestras de agua y gases, tomadas a lo largo de perfiles trazados en sentido perpendicular a las isopiezas, que permitan calcular la velocidad de flujo entre 2 puntos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARAGUAS, L. (1991). *Adquisición de los contenidos isotópicos (^{18}O y D) de las aguas subterráneas: variaciones en la atmósfera y en la zona no saturada del suelo*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.
- COROMINAS, J.; OCAÑA, I. y ALBERT, J.F. (1984). *La Geoquímica en Geotermia*. Energía Geotérmica. IGME. pp. 61-75.
- CUSTODIO, E. (1983). *Nuevas contribuciones al conocimiento hidrogeológico de las Islas Canarias*. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. (III Simposio de Hidrogeología). Tomo VII, pp. 705-717.
- CUSTODIO, E. y MANZANO, M. (1992). *Estudio preliminar hidrogeoquímico e isotópico ambiental de la isla de La Gomera*. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos (V Simposio de Hidrogeología). Tomo XVI, pp. 61-76. Alicante.
- DAVIS, S. (1991). *Nuevos métodos isotópicos, útiles en estudios hidrogeológicos de islas volcánicas*. Curso Internacional de Hidrología Subterránea: Hidrogeología, Estado Actual y Prospectiva. pp. 163-170.
- DAVIS, S.; VEEGER, A.; CUSTODIO, E. and JIMENEZ (1989). *A Comparison of Chemistry of Water from La Palma, Canary Islands, with Water from Other Basaltic Aquifers*. 28th International Geological Congress. Washington. D.C. USA. pp. 372-373.
- D'AMORE, F.; GIANELLI, G.; CORAZZA, E.; JAUREGUI, J. and VARELA, P. (1990). *Exploración geotérmica mediante métodos geoquímicos en el área termal de El Pilar-Mundo Nuevo, Estado de Sucre, Venezuela*. Estudios geotérmicos con técnicas isotópicas y geoquímicas en América Latina. IAEA. pp. 377-422.

- DELGADO, A. y NUÑEZ, R. (1990). *Factores ambientales que influyen en la composición isotópica del agua de lluvia*. 1ª Reunión sobre el Medio Ambiente en Andalucía. Córdoba. pp. 491-498.
- FRITZ, P. and FONTES, J. (1988). *Handbook of environmental isotope geochemistry*. Vol. I, 2, Elsevier, 2ª edición.
- GARCIA DE LA NOCEDA, C. (1984). *Estado actual de la investigación Geotérmica en España. Trabajo realizado, perspectivas y desarrollo tecnológico*. Energía Geotérmica. IGME. pp. 49-59.
- GEOMECANICA Y AGUAS, S.A. (1988). *Estudio geológico, hidrológico y geohidroquímico de todos los puntos de agua de la isla de La Palma*. Servicio Hidráulico de Santa Cruz de Tenerife. 47 pp.
- GEOMECANICA Y AGUAS, S.A. (1990). *Estudio de evaluación de los niveles freáticos en la isla de La Palma*. Servicio Hidráulico de Santa Cruz de Tenerife.
- HEM, J. (1985). *Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water*. U.S. Geological Survey. 263 pp.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1981a). *Statistical Treatment of Environmental Isotope Data in Precipitation*. Technical Reports Series No. 206. 255 pp.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1981b). *Stable isotope hydrology: Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle*. Technical Reports Series No. 210. pp. 89-237.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1983). *Guidebook on nuclear technics in hydrology*. Technical Reports Series No. 91.

- ITGE (1989). *Aplicación de las técnicas isotópicas al estudio de problemas hidrogeológicos: Diseño de una red nacional de muestreo de isótopos ambientales*. 166 pp.
- JIMENEZ (1974). *Esquema hidrogeológico de la Isla de La Palma*. Sección VII. Simposio Internacional sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos. Sección VII. Lanzarote. pp. 49-51.
- SGOP (1985). *El agua en Canarias*. BIE No. 44, 48 pp.
- TELLO, E. (1990). *Características geoquímicas e isotópicas de los fluidos producidos por los pozos de Los Humeros, Puebla, México*. Estudios geotérmicos con técnicas isotópicas y geoquímicas en América Latina. IAEA. pp. 307-344.
- UNESCO-DGOH (1975). SPA/69/515. *Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias*. Madrid.

ANEXOS

ANEXO 1

Descripción de las galerías muestreadas

1. LA GUINDERESA

1. LA GUINDERESA

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Garafia.

Barranco: Briesta.

Hoja 1:25.000: 1

Hoja 1:5.000: 9

x (UTM): 212.300

y (UTM): 3.180.850

z (m): 775

Altura media: 1.80 m

Utilización del agua: Regadío.

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 3635

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de Briesta, a una cota de 775 m s.n.m. y a 0.4 km de distancia de la línea de costa. Tiene una longitud de 3653 m y presenta un cómodo recorrido.

A los 478 m tiene un ramal a la derecha de 80 m de largo y trazado sinuoso.

El acceso a la bocamina es incómodo a lo largo del canal que baja el agua de la galería, ya que hay que atravesar un túnel de 700 m hasta situarse por debajo de la bocamina.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería está situada en las coladas basálticas de la Serie Antigua, con dirección general N-50°-E y buzamientos subhorizontales. Este hecho, junto con la gran potencia que suelen presentar las coladas, hace que durante largos tramos la galería se mantenga muy homogénea.

Las coladas son basálticas escoriáceas, presentándose las escorias de techo y muro compactadas y, en general, predominando el núcleo. El basalto es principalmente afanítico en los 1000 m iniciales y olivínico en el resto de la galería. Los cristales de olivino son de pequeño tamaño y aparecen sin alterar salvo en los 1000 m finales. Hacia el frente aparecen fenocristales de piroxeno y los de olivino se hacen de mayor tamaño.

Es frecuente la existencia de fracturación de flujo y disyunción columnar.

Los diques presentan orientaciones variables aunque, en la segunda mitad predominan los que siguen una dirección aproximada a la de la galería por lo que se siguen durante largos tramos. Son frecuentes los tramos piroclásticos aunque en general presentan poca potencia. Los almagres, al igual que ocurre con las coladas, muestran una disposición subhorizontal por lo que se siguen durante largos tramos de galería, como queda patente en el ramal existente.

Hidrogeología:

Todo el agua se alumbra a partir de los 3425 m, en que acaba el canal, en forma de agua de repisa principalmente. Únicamente en los últimos 15 m de la galería existen rezumes en las paredes y techo, coincidiendo con la presencia de un dique vertical con dirección N-30°-W.

El resto de la galería no muestra zonas de interés, salvo pequeñas humedades sin importancia a los 300, 1000, 1150, 1430 y 3000 m desde la bocamina.

2. LOS MINADEROS

2. LOS MINADEROS

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Garafia.

Barranco: Barbudo.

Hoja 1:25.000: 1

Hoja 1:5.000: 17

x (UTM): 218.745

y (UTM): 3.187.080

z (m): 1420

Altura media: 1.80 m

Utilización del agua: Abastecimiento.

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 2485

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de Barbudo, a una cota de 1420 m s.n.m. y a 6 km de distancia de la línea de costa. La galería principal tiene una longitud de 2484 m y presenta una sección cómoda para poder andar por ella.

A los 1000 m tiene un ramal a la izquierda de 1158 m de largo.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería atraviesa las coladas basálticas escoriáceas de la Serie Antigua. Es probable que debido a la gran profusión de diques existentes en la zona así como la existencia generalizada de recristalización de minerales secundarios y la frecuente e intensa iddingstización de los olivinos, se trate de la Serie Antigua I.

Como ya se ha indicado, el rasgo geológico más característico de la galería es la muy densa malla de diques atravesados. Estos se agrupan de manera

muy homogénea en torno a los N-120°-E a N-160°-E, aunque existen alineaciones secundarias ortogonales a la anterior. Los buzamientos son, en la mayoría de los casos, subverticales y cuando están inclinados lo hacen hacia el N ó NE.

Es destacable el hecho de que a medida que nos acercamos hacia el frente y coincidiendo con la zona hidrogeológicamente saturada, la frecuencia de los diques disminuye notoriamente.

Otra característica de la galería es la abundancia de pequeños tramos piroclásticos, en conjunto difíciles de independizar de las coladas, entre los que se observan, en algunas ocasiones, cenizas gruesas. Este hecho es especialmente significativo a partir de la bifurcación ramal-galería principal y hasta cerca de los 2000 m. Las coladas escoriáceas poco potentes, salvo excepciones, muestran una abundante matriz tamaño arena relleno de los huecos, por lo que presentan un aspecto muy compacto.

No aparecen, salvo en el tramo final de la galería principal, almágres. Los que aquí aparecen pueden considerarse como tramos escoriáceos con abundante matriz arcillosa y arenosa, de color rojizo, rubefactados por efecto de coladas posteriores.

Hidrogeología:

La galería muestra abundantes goteos y humedades a lo largo de todo el recorrido relacionados, principalmente, con la presencia de diques. Pero es a partir de los 1765 m, en la galería principal y a los 655 m en el ramal, donde los goteos y rezumes se hacen muy frecuentes. Las humedades aparecen, incluso desde estos puntos hasta el frente y cuando no existen, es debido a la muy baja porosidad y permeabilidad del terreno.

La tipología de las afluencias de agua es muy variada, predominando el agua de repisa. También existen surgencias, rezumes de techo y goteos difusos. El agua va disminuyendo progresivamente hacia el frente, que está prácticamente seco.

De forma aproximada se puede estimar en un 60% el caudal de la galería principal y en un 40% el del ramal.

3. FUENTE NUEVA

3. FUENTE NUEVA

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Garafia.

Barranco: Del Cedro o Cabrito.

Hoja 1:25.000: 1

Hoja 1:5.000: 17

x (UTM): 218.015

y (UTM): 3.188.580

z (m): 1075

Altura media: 1.75 m

Utilización del agua: Regadío (97%) y abastecimiento (3%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 2567

Datos generales:

La galería está situada en el barranco del Cabrito, a una cota de 1075 m s.n.m. y a 5.2 km de distancia de la línea de costa. Tiene una longitud de 2568 m y presenta un cómodo acceso.

No presenta gases ni calor.

Litología:

Desde la bocamina hasta los 1200-1300 m aproximadamente, la galería atraviesa las coladas basálticas de la Serie II. Son coladas escoriáceas con escorias compactas. El basalto es unas veces cristalino y otras afanítico, predominando este último. Son frecuentes las coladas de basalto vacuolar.

A partir de la distancia mencionada, el rasgo más característico de la galería es la presencia de diques, existiendo tramos de en que más del 50% del terreno está formado por ellos. Estos presentan unas orientaciones predominantes N-140°-170°-E y buzamientos generalmente verticales. Este brusco cambio en la densidad de los diques puede indicar la existencia de la Serie I; el contacto se podría situar coincidiendo con el almagre y zonas

piroclásticas de los 1225 m.

Hidrogeología:

La práctica totalidad del agua se alumbra en el frente, gracias a la existencia de 11 catas y 2 más unos metros antes del final de la galería. Aquí mana el agua en forma de "chorros a presión".

Desde los 2420 m en que termina el canal existe cierto aporte en forma de agua de repisa, con algunos goteos y rezumes concentrados a los 2490 y 2521 m. Todos estos alumbramientos se sitúan en la Serie I. La zona saturada se supone que empieza, por lo tanto, a los 2420 m.

Es destacable la existencia de humedades continuas en los 1000 m iniciales.

4. ROQUE DE LOS ARBOLES

4. ROQUE DE LOS ARBOLES

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Barlovento.

Barranco: Gallegos.

Hoja 1:25.000: 2

Hoja 1:5.000: 18

x (UTM): 223.040

y (UTM): 3.187.100

z (m): 1220

Altura media: 1.80 m

Utilización del agua: Regadío (90%) y abastecimiento (10%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 2395

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de Gallegos, a una cota de 1220 m s.n.m. y a 5.7 km de distancia de la línea de costa. Tiene una longitud total de 2395 m y un ramal de 75 m que sale a los 1621 m a la derecha.

El acceso es largo y difícil y su sección es cómoda excepto en el ramal.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería está excavada en las coladas basálticas de la Serie Antigua. Los 300 m iniciales se caracterizan por presentar coladas muy escoriáceas con escorias poco compactas, basalto cristalino y algo vacuolar. En este tramo únicamente aparecen dos diques.

A partir de aquí hasta los 2320 m las escorias de las coladas aparecen muy compactadas, hecho que junto a la marcada fracturación del terreno, no permite una identificación clara de los núcleos y escorias. El basalto es frecuentemente cristalino con olivinos generalmente alterados. La malla de

diques se va haciendo progresivamente más densa, con orientaciones predominantes N-0°-40°-E. La dirección de la galería en el último tramo hace que los diques se sigan durante largos recorridos.

Aunque no existe una discordancia evidente, se puede suponer que el contacto entre las Series I y II se sitúa en torno a los 250-300 m.

A partir de los 2310 m y hasta el frente, el terreno es conglomerado con cantos muy heterométricos y matriz areno-arcillosa. Este tramo es equivalente al interpretado por algunos autores como es situado en la base de la Serie I.

Hidrogeología:

La zona saturada en agua de la galería se puede considerar que se inicia sobre los 1550 m. Entre los 1566 y 1580 existen 3 diques que concentran goteos y rezumes de importancia, además de la existencia de una cata en el Hastial derecho, por donde mana el agua de forma notoria. Posteriormente, el agua de repisa es la tónica general del resto de la galería y únicamente cerca del frente y en algún punto concreto en el ramal existen algunos goteos y rezumes.

El alumbramiento del agua se produce, por lo tanto en la Serie I.

En los 1550 m iniciales aparecen humedades en los 200 primeros metros, y algunos goteos en torno a los 100 y 1275 m.

5 y 6. CUEVITAS

5 y 6. CUEVITAS

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Barlovento.

Barranco: Del Cerco.

Hoja 1:25.000: 2

Hoja 1:5.000: 12

x (UTM): 224.960

y (UTM): 3.190.640

z (m): 595

Altura media: 1.70 m

Utilización del agua: Regadío, abastecimiento y otros.

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 3160
(muestra 5) y 3650 (muestra 6)

Datos generales:

La galería está situada en el barranco del Cerco, a una cota de 595 m s.n.m. y a 2.8 km de distancia de la línea de costa.

Esta galería presenta un ramal principal, con una longitud total de 3650 m, y uno secundario que se separa del anterior a los 2850 m y llega a los 3160 m.

Litología:

Se trata de coladas escoriáceas correspondientes a las Series Antiguas I y II, con escasas zonas piroclásticas y almagres poco potentes y muy dispersos.

La dirección general de los diques es N-S, presentando éstos buzamientos subverticales. A los 1494 m existe un dique con dirección N-80°-E y buzamiento de 40° al Sur.

El ramal, al seguir una dirección N-S, no corta a los diques con la tendencia

general y, únicamente, presenta unos de dirección E-W y buzamiento vertical.

Hidrogeología:

La zona principal de rezume de agua en toda la galería está situada entre los 2997 m y los 2960 m, correspondiendo a un dique (con dirección N-20°-E y buzamiento de 80° al Sur), una colada y un almagre. A los 1118 m aparece también, en una colada, un rezume significativo.

En el frente de la galería y del ramal no se observa aporte de agua importante.

7 y 8. GIRINELDOS

7 y 8. GIRINELDOS

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Barlovento.

Barranco: Girineldos.

Hoja 1:25.000: 2

Hoja 1:5.000: 13

x (UTM): 228.155

y (UTM): 3.190.760

z (m): 300

Altura media: 1.70 m

Utilización del agua: Regadío (99%) y abastecimiento (1%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 3761
(muestra 7) y 4278 (muestra 8)

Datos generales:

La galería está situada en el barranco Girineldos, a una cota de 300 m s.n.m. Tiene una longitud de 4459 m. Posee una locomotora para poder recorrerla. En ocasiones es extremadamente baja, hecho que dificulta su tránsito.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería está emboquillada en unos derrubios de ladera. A partir de aquí se pueden diferenciar dos unidades. Una externa (Serie Antigua II), constituida fundamentalmente por el apilamiento de coladas muy escoriáceas aunque existen algunos tramos de coladas masivas. No presenta diques y se extiende hasta los 1174 m de la bocamina.

A partir de aquí y tras un importante tramo piroclástico el terreno está intensivamente intruído por diques, con direcciones predominantemente N-10°-E a N-40°-E y las coladas se hacen más masivas al principio aunque, posteriormente, vuelven a aparecer tramos escoriáceos de coladas

basálticas. Correspondería a la Serie Antigua I.

Además del reseñado existen numerosos tramos piroclásticos aunque con importancia y extensión variada.

Hidrogeología:

Un volumen importante del agua rezuma entre los 3741 y 3774 m mediante una serie de catas hechas en un material predominantemente piroclástico poco consolidado.

Entre los 4200 y 4320 m se produce una ligera afluencia de agua desde el suelo de la galería. A partir de este punto y hasta el frente, la galería está seca.

9. SAN ANDRES

9. SAN ANDRES

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: San Andrés y Sauces.

Barranco: Del Agua.

Hoja 1:25.000: 2

Hoja 1:5.000: 19

x (UTM): 226.165

y (UTM): 3.187.190

z (m): 595

Altura media: 1.80 m

Utilización del agua: Regadío.

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 1948

Datos generales:

La galería está situada en el barranco del Agua, a una cota de 595 m s.n.m. y a 9.8 km de la línea de costa. Tiene una longitud de 1975 m en una única alineación. Su altura hace cómodo el recorrido.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería está excavada en coladas basálticas escoriáceas correspondientes a la Serie Antigua, probablemente la Serie II. Los tramos escoriáceos, de frecuente matriz arcillosa, se encuentran muy compactados. El Basalto es afanítico hasta los 1500 m aproximadamente y a partir de ahí se hace más cristalino con fenocristales de olivino y piroxeno. Algunas coladas presentan una marcada disyunción columnar.

La potencia de las coladas es pequeña y su dirección es normal al eje de la galería, presentando un buzamiento aproximado de 10° hacia la bocamina. Existe un importante tramo piroclástico al inicio de la galería marcado por un potente almagre en el que se aprecian goteos. Los diques presentan una

orientación variable adquiriendo hacia el frente una dirección sensiblemente paralela a la galería, apareciendo y desapareciendo por ambos hastiales.

Hidrogeología:

El agua afluye a la galería de forma continua, a través del suelo, desde aproximadamente los 1475 m a partir de la bocamina, hasta casi el frente.

No existen, salvo a los 1640 m, una afluencia concentrada de agua y ésta se realiza de forma difusa. A los 1640 m existen dos catas en el lado izquierdo, a la altura del suelo, que aporta un caudal significativo.

Hacia el frente y coincidiendo con algún dique con dirección aproximada a la de la galería, se produce algún goteo y rezume de escasa entidad.

A los 1812 m existe un pequeño ramal de 6 m, a la derecha, en el que el agua sale por detrás de un dique, del suelo de la galería.

10 y 11. CALDERO DE LOS TILOS

10 y 11. CALDERO DE LOS TILOS

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Puntallana.

Barranco: El Cubo de la Galga.

Hoja 1:25.000: 2

Hoja 1:5.000: 27

x (UTM): 228.650

y (UTM): 3.184.350

z (m): 570

Altura media: 1.95 m

Utilización del agua: Regadío.

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 197
(muestra 10) y 1997 (muestra 11)

Datos generales:

La galería está situada en el barranco del Cubo, a una cota de 570 m s.n.m. y a 3.4 km de la línea de costa. En la actualidad (27-05-92) se está avanzando en el frente. Su altura hace cómodo el recorrido.

Litología:

Se encuentra en coladas basálticas escoriáceas de la Serie Antigua. Durante los primeros 400 m predominan, de manera clara, las escorias muy compactadas pudiendo considerarse, en algunos tramos, como un aglomerado volcánico. A partir de ahí, los tramos escoriáceos pierden algo de preponderancia aunque siguen mostrando una elevada compactación por matriz arcillosa-arenosa.

Se puede considerar a los basaltos como una alternancia de coladas semiafaníticas y cristalinas con fenocristales de piroxeno y olivino; estos últimos, con una alteración variable. Las coladas son esporádicamente vacuolares y muestran una fracturación secundaria que es importante en ciertas zonas.

Los diques presentan una dirección aproximada N-11°-100°-E y buzamientos subverticales, y los almagres, muy numerosos, presentan buzamientos variables hacia el Este.

Hidrogeología:

La práctica totalidad del agua de la galería aparece a partir de los 1710 m de la bocamina. Al principio afluye de manera difusa por el suelo, pero en el frente existen unos goteos y rezumes en el techo y hastiales, así como diez catas por las que mana un cierto volumen de agua.

También, entre los 150 y 350 m de la bocamina, existe una cierta afluencia de agua a ras de suelo, a través de pequeñas grietas o, simplemente, en los tramos escoriáceos de las coladas. El volumen aportado, sin embargo, es pequeño y variable estacionalmente, aunque nunca desaparece. En la bocamina también hay un cierto rezume de agua.

12, 13 y 14. AGUATABAR

12, 13 y 14. AGUATABAR

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Tijarafe.

Barranco: Cueva Grande.

Hoja 1:25.000: 3

Hoja 1:5.000: 30

x (UTM): 211.180

y (UTM): 3.180.480

z (m): 630

Altura media: 1.80 m

Utilización del agua: Uso propio.

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 2670

(muestra 12), 3086 (muestra 13) y 3707 (muestra 14)

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de la Castellana o de la Cueva Grande, a una cota de 630 m s.n.m. y a 1.5 km de la línea de costa. Su longitud es de 3539 m, su trazado es recto. El acceso hasta la bocamina es cómodo.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería está emboquillada en las coladas basálticas escoriáceas de la Serie Antigua II atravesándolas hasta, aproximadamente, los 1200-1360 m. Hasta ahí las coladas son predominantemente cristalinas, aunque con pequeños cristales de piroxeno y olivino, predominando el primero. Los olivinos no están alterados. En algunos puntos, como a los 600 m ó a los 1130 m, los fenocristales son de tamaño centimétrico. Predominan, aunque de forma variable, los tramos escoriáceos y la frecuencia de diques es pequeña, atravesándose únicamente dos en estos primeros metros.

A partir de los 1200-1300 m (el contacto es neto), las coladas se hacen más cristalinas con grandes fenocristales de olivino y piroxeno, y los diques se van haciendo cada vez más numerosos, especialmente apartir de los 1600 m. Las escorias están muy compactadas, aparecen recristalizaciones de carbonatos a partir de los 2000 m, y eflorescencias de ellos a partir de los 2800 m. El basalto, asimismo, se presenta, frecuentemente, vacuolar. Este conjunto de características parecen indicar que se trata de las coladas basálticas correspondientes a la Serie Antigua I.

Hidrogeología:

Tres son las zonas principales de aporte de agua a la galería, en todos los casos en forma de agua de repisa, fundamentalmente. El primero se extiende desde los 2665 m, por detrás de un dique vertical de dirección N-130°-E, hasta los 2690 m. El volumen de agua aportado aquí es pequeño. La segunda zona se desarrolla entre los 2972 m, detrás de un dique vertical de dirección N-150°-E, hasta los 3130 m. Aunque se trata de un tramo largo, la principal afluencia se produce en los últimos 20 m.

El último y más importante tramo de aporte de agua se desarrolla entre los 3387 m y el frente de labores, aunque los últimos 20 m prácticamente sólo presentan pequeñas humedades en el suelo y hastiales de la galería.

No existe ningún punto, a lo largo del trazado, donde se produzcan rezumes o surgencias. Se trata, en general, de pequeños goteos y, principalmente, humedades y aporte difuso de agua.

15. LA ROSITA

15. LA ROSITA

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Puntallana.

Barranco: Hondo o Nogales.

Hoja 1:25.000: 4

Hoja 1:5.000: 34

x (UTM): 227.920

y (UTM): 3.182.713

z (m): 1003

Altura media: 1.75 m

Utilización del agua: Regadío (80%) y Abastecimiento (20%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 3991

Datos generales:

La galería está situada en el barranco Hondo, a una cota de 1003 m s.n.m. y a 5.4 km de la línea de costa. El acceso hasta la bocamina es cómodo.

Presenta tres ramales en la margen derecha a los 975, 1000 y 3240 m a partir de la bocamina.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería atraviesa las coladas basálticas de la Serie Antigua. Son escoriáceas, afaníticas, potentes y de muro a techo poco compactas. Entre los 2400 y los 2800 m el basalto es más cristalino, con fenocristales de olivino y piroxeno y las coladas son menos potentes.

Hacia el frente son frecuentes las eflorescencias de carbonatos e incluso las recristalizaciones en las vacuolas de las coladas.

Las zonas piroclásticas son de poco espesor y los diques presentan

orientaciones agrupadas en los N-80°-90°-E y N-90°-60°-E. Los buzamientos son verticales en la mayoría de los casos.

Hidrogeología:

La afluencia de agua a la galería se produce de manera casi continua desde el techo y hastiales y a través de catas realizadas a partir de los 3780 m y hasta el frente . Existen una serie de diques con direcciones N-20°-E y buzamientos subverticales que concentran la escorrentía del agua. En el frente existen cuatros catas en el lado izquierdo de la galería, apareciendo otras cinco a los 3070 y también en su lado izquierdo. Estas catas producen agua. El alumbramiento se realiza a través de escorias poco cementadas.

16. RISCO BLANCO

16. RISCO BLANCO

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Puntallana.

Barranco: Seco.

Hoja 1:25.000: 4

Hoja 1:5.000: 35

x (UTM): 228.425

y (UTM): 3.181.275

z (m): 850

Altura media: 1.75 m

Utilización del agua: Regadío (92%) y Abastecimiento (8%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 1971

Datos generales:

La galería está situada en el barranco Seco, a una cota de 850 m s.n.m. y a 4 km de la línea de costa. Su longitud es de 1971 m. El acceso hasta la bocamina es cómodo.

No presenta gases ni calor.

Litología:

Esta galería está excavada en coladas basálticas escoriáceas muy potentes, semiafaníticas y en las que, a veces, se pueden distinguir pequeños cristales de olivino y piroxeno. Los tramos escoriáceos son normalmente muy potentes y en los tramos masivos la disyunción columnar es frecuente.

El basalto es poco vacuolar y hacia los 1300 m existe una potente colada con fenocristales de olivino y piroxeno claramente visibles, de la Serie Antigua II.

Los tramos piroclásticos, en general de tamaño grueso, se sitúan entre los 365 y 460 m y 517-568 m.

Los diques, frecuentes, muestran unas orientaciones muy agrupadas en torno a los N-90°-E y buzamientos subverticales.

Hidrogeología:

La totalidad del agua surge a través del frente de la galería, por detrás de un dique con dirección N-70°-E y buzamiento vertical. Por detrás de éste, aparece una colada masiva marcadamente fracturada. Se han realizado unas 20 catas por donde el agua sale a presión.

En el resto de la galería existen pequeñas humedades asociadas a diques, en los tramos escoriáceos o en las grietas de disyunción columnar.

17. SALTO DE LAS POYATAS

17. SALTO DE LAS POYATAS

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Santa Cruz de la Palma.

Barranco: Seco.

Hoja 1:25.000: 4

Hoja 1:5.000: 35

x (UTM): 230.175

y (UTM): 3.180.207

z (m): 290

Altura media: 1.80 m

Utilización del agua: Regadío.

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 1431

Datos generales:

La galería está situada en el barranco Seco, a una cota de 290 m s.n.m. y a 2 km de la línea de costa. Da un caudal de 41.3 l/s procedentes, en un 90% del frente de la galería. Es cómoda de recorrer.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería está emboquillada en una zona piroclástica muy compactada, atravesada por un dique vertical de dirección N-120°-E. Se trata en general del apilamiento de sucesivas coladas escoriáceas pertenecientes a las Series Antiguas. Este carácter escoriáceo se va perdiendo hacia el frente, dando paso a coladas más masivas.

Existen varias zonas piroclásticas significativas al inicio de la galería, sobre los 1000 m y alrededor de los 1250 m; aparecen numerosos diques predominantemente subverticales, con direcciones agrupadas, principalmente, sobre los N-90°-E y N-120°-E.

Hidrogeología:

Tres son las zonas principales de afluencia de agua a la galería. La más importante se sitúa en el frente, de donde sale el 90% del caudal, en unas catas hechas en una colada basáltica muy fracturada. Dos metros por delante, existe un dique de basalto afanítico con dirección N-60°-E y buzamiento 70°-SE.

La segunda zona, entre 1387 y 1392 m, aporta un caudal estimado de 2 l/s y se trata de una colada basáltica muy fracturada y un dique de basalto afanítico subvertical y con dirección N-100°-E.

La tercera en importancia y primera en orden cronológico, se sitúa sobre los 886 m del frente, con un caudal de, aproximadamente, 1 a 2 l/s. Es la zona escoriácea de una colada basáltica y un dique con dirección N-105°-E y buzamiento 80°-S.

18. CORCHO Y ZARZALITO

18. CORCHO Y ZARZALITO

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Puntallana.

Barranco: Cordero.

Hoja 1:25.000: 4

Hoja 1:5.000: 35

x (UTM): 230.475

y (UTM): 3.182.950

z (m): 560

Altura media: 1.75 m

Utilización del agua: Regadío (90%) y abastecimiento (10%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 2360

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de Cordero, a una cota de 560 m s.n.m. y a 3 km de la línea de costa. Su longitud total es de 2360 m y existe una locomotora que permite acceder al frente.

No presenta gases ni calor.

Litología:

Emboquillada en una zona piroclástica, el resto de la galería corresponde al apilamiento de coladas basálticas escoriáceas de la Serie Antigua. Al principio tienen poco espesor (menor de 1 m), haciéndose más potentes a partir de los 300 m.

El basalto es afanítico-semiafanítico bastante vacuolar en términos generales. Hacia el frente se hacen patentes los fenocristales de olivino y piroxeno, presentándose los primeros iddingsitizados. Se observan también esporádicos recrecimientos de carbonatos.

La zona piroclástica más importante se sitúa hacia los 2000 m, existiendo

otras de escasa potencia. Las direcciones de los numerosos diques se agrupan sobre los N-90°-110°-E y los buzamientos son subverticales en la mayoría de los casos.

Hidrogeología:

La práctica totalidad del agua brota del frente de la galería mediante trece catas realizadas en éste y en los laterales.

El agua sale a presión y es probable que mediante las catas se haya atravesado algún dique. En cualquier caso, a partir de los 2310 m, existen goteos y rezumes constantes que aportan agua a la galería, pudiendo considerarse este punto como el inicio de la zona saturada.

Existen otros goteos y rezumes en las zonas escoriáceas de las coladas, asociados generalmente, a almagres y diques. El más importante de éstos se sitúa a los 140 m del inicio de la galería, donde se tomó una muestra. Se trata de niveles acuíferos colgados respecto al nivel piezométrico regional.

19. HIDRAULICA DE LAS NIEVES-1

19. HIDRAULICA DE LAS NIEVES-1

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Santa Cruz de la Palma.

Barranco: Madera.

Hoja 1:25.000: 4

Hoja 1:5.000: 41

x (UTM): 225.355

y (UTM): 3.179.900

z (m): 1100

Altura media: 1.75 m

Utilización del agua: Regadío (97%) y abastecimiento (3%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 2153

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de la Madera, a una cota de 1100 m s.n.m. y a 7.7 km de la línea de costa. Su longitud total es de 2149 m y es ligeramente más baja de lo normal. El acceso se realiza mediante un camino situado en el mismo barranco, que hace largo el recorrido.

No presenta gases ni calor.

Litología:

Se trata de coladas basálticas de la Serie Antigua, poco potentes, con presencia de escorias a muro y techo bien compactadas, semiafaníticas en general y localmente vacuolares. Hacia el frente las coladas se hacen algo más potentes, 3 ó 4 m, y los tramos escoriáceos pierden importancia.

Es reseñable la gran cantidad de diques (94) con direcciones entre N-80°-110°-E y buzamientos no siempre verticales y siempre hacia el Sur. Existe algún tramo piroclástico y los almagres son poco significativos.

Hidrogeología:

Existen cuatro alumbramientos de agua importantes a lo largo de la galería:

1. Entre los 809 y 840 m. Existen dos diques, a los 809 y 826 m y un almagra a los 839 m, que concentran la mayor parte del rezume de las escorias de las coladas existentes.
2. Entre los 1457 y 1490 m el alumbramiento se produce en una zona piroclástica poco compactada, y gracias a la existencia de 3 diques (a los 1457, 1475 y 1486 m).
3. De los 1574 a los 1585 m existe una pequeña zona de rezume de agua situada por detrás de un dique vertical de unos 2 m de potencia y con dirección E-W.
4. Entre los 2140 y los 2149 m se encuentra el frente de la galería y existe un dique (a los 2140 m) vertical y 11 catas hechas en el frente de la galería de las que cuatro producen agua.

20. LAS MERCEDES-1

20. LAS MERCEDES-1

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Santa Cruz de la Palma.

Barranco: Madera.

Hoja 1:25.000: 4

Hoja 1:5.000: 41

x (UTM): 226.265

y (UTM): 3.179.200

z (m): 730

Altura media: 1.80 m

Utilización del agua: Regadío (57%) y abastecimiento (43%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 1901

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de la Madera, a una cota de 730 m s.n.m. y a 5.5 km de la línea de costa. La longitud total de su pasillo principal es de 964 m, apareciendo, en este punto, un ramal de la misma longitud. El acceso a la galería es cómodo.

No presenta gases ni calor.

Litología:

Se trata, en general de coladas poco escoriáceas, potentes, masivas y semiafaníticas. A veces se distinguen cristales de olivino y piroxeno, principalmente al inicio de la galería, haciéndose el basalto vacuolar. Hacia el frente aparecen recrecimientos de cristales secundarios (carbonatos).

Existe un importante tramo piroclástico en el ramal, agrupándose los diques con dirección N-100°-E. Sus buzamientos son verticales o subverticales en muchos casos, pertenecientes a la Serie Antigua.

Hidrogeología:

La totalidad del agua de la galería sale por su ramal. La primera zona importante se encuentra a los 550 m del inicio de dicho ramal, detrás de un dique con dirección N-100°-E y buzamientos de 70° al Sur. Es una zona de coladas escoriáceas con rezumes del techo y paredes de la galería entre los 550 y 572 m. Hasta los 600 m se mantienen los goteos y la humedad y, posteriormente, pasa a estar seca. El aporte se puede considerar como un 40%, aproximadamente, del total de la galería.

A partir de los 876 m las humedades, goteos y rezumes en la galería, adquieren relevancia hasta que en los 925 m, el aporte de agua se hace muy importante, representando el resto del total de la galería.

Existen ciertas humedades y goteos de poca importancia, todos ellos relacionados con diques. Los almagres, debido a su escasa frecuencia y poco espesor, no suponen barreras hidrogeológicas significativas.

21. LA MADERA (SANTA ANA)

21. LA MADERA (SANTA ANA)

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Santa Cruz de la Palma.

Barranco: Madera.

Hoja 1:25.000: 4

Hoja 1:5.000: 41

x (UTM): 227.520

y (UTM): 3.178.170

z (m): 450

Altura media: 1.80 m

Utilización del agua: Regadío (73%) y abastecimiento (27%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 2546

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de la Madera, a una cota de 450 m s.n.m. y a 6 km de la línea de costa. Su longitud total es de 2760 m, presentando una altura superior a lo normal. El acceso a la galería es cómodo.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería está situada en las coladas basálticas de la Serie Antigua, apareciendo en su frente (a partir de los 2700 m) el complejo Basal.

Las coladas se caracterizan por ser muy cristalinas con abundancia en cristales de olivino y piroxeno, de orden centimétrico. La aparición hacia el frente de la galería de minerales secundarios (nefelina principalmente), así como la disminución del tamaño de los cristales y el aumento en la compacidad de las coladas, hacen pensar en la existencia de las dos Series (I y II), aunque su contacto no se haya podido distinguir. El basalto es, en general, muy vacuolar y poco escoriáceo salvo en los 300 m iniciales.

Ya en el frente, e iniciado por un tramo revestido, aparece el complejo basal, muy compacto, algo alterado y con calcita rellenando ciertas grietas. Aquí el ambiente se hace más cálido.

A lo largo de la galería se cortan un total de 30 diques con direcciones generales E-W y buzamientos subverticales. Existen dos tramos piroclásticos de importancia (955-1000 m y 2560-2595 m) y los almagres presentes son de poca potencia, en general, salvo alguna excepción.

Hidrogeología:

La galería, en sus primeros 1585 m, está en general seca. A partir de aquí empiezan a aparecer goteos y humedades extendidas a lo largo de todo su recorrido viéndose favorecidas por la presencia de diques y almagres. Salvo a los 2389, punto en el que existe una cata a ras del suelo por donde afluye el agua de manera visible, el aporte general se produce de manera difusa a través del suelo (agua de repisa). Existe agua en el suelo de la galería desde los 1920 hasta los 2555 m. A partir de aquí el terreno está seco salvo esporádicas humedades y goteos hasta que se hace completamente impermeable al entrar en el Complejo Basal, ya en el frente.

22. LOS ALPES

22. LOS ALPES

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Santa Cruz de la Palma.

Barranco: Espino o Pájaros.

Hoja 1:25.000: 4

Hoja 1:5.000: 49

x (UTM): 228.090

y (UTM): 3.176.345

z (m): 275

Altura media: 1.80 m

Utilización del agua: Abastecimiento.

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 2371

Datos generales:

La galería está situada en el barranco del Espino, a una cota de 275 m s.n.m. y a 2.5 km de la línea de costa. Su longitud total es de 2385 m, con un ramal a los 2150 m, a la derecha de 8 m de largo y dirección N-150°-W. A los 494 m hay otro ramal, a la izquierda, al que no se puede acceder por estar relleno de escombros. Su dirección es N-S y parece que presenta una inclinación descendente. El acceso a la galería es cómodo.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería está perforada en las coladas correspondientes a la Serie Antigua II y I. En sus primeros 1397 m las coladas son principalmente basálticas escoriáceas dominando, durante los primeros 400 m, los tramos escoriáceos sobre la parte masiva de las coladas de tal manera que, a veces, podría considerarse como un aglomerado volcánico. Hasta los 500 m, aproximadamente, se presentan afaníticos o semiafaníticos. A continuación se hacen cristalinas con pequeños fenocristales de piroxeno y olivino. A partir de los 700 m, los fenocristales presentan tamaños centimétricos. Los núcleos

de las coladas muestran de manera variable, disyunción columnar. En todo el tramo no se corta ningún dique. Hasta aquí se puede considerar como Serie Antigua II.

Desde los 1397 m hasta los 1425 m aparece un material sedimentario heterométrico de matriz arcillosa, en el que el centil alcanza los pocos decímetros. Puede considerarse a este material como el resultante de los procesos erosivo-sedimentarios desarrollados durante la etapa de interfase Serie II-Serie I. Desde aquí hasta el final las coladas son cristalinas de carácter masivo y con escorias compactas. Aparecen de forma esporádica recristalizaciones de carbonatos y olivinos generalmente alterados. Estas características se mantienen hasta el frente y se puede considerar que pertenecen a la Serie-I.

Es destacable la existencia entre los 1810 y 1876 m de un conglomerado poligénico con abundante matriz arcillosa, cantos subangulares y muy heterométricos.

Hidrogeología:

Todo el agua de la galería se sitúa por detrás de un dique a los 1746 m de la bocamina. Este dique, de 2.5 m de potencia, tiene una dirección N-50°-E y un buzamiento vertical. Desde aquí hasta el frente de la galería los goteos y humedades son prácticamente constantes y cuando estos no aparecen es debido a la baja permeabilidad del terreno. Salvo en algunos puntos aislados (1805, 1807, 1990 y 2319 m) el agua afluye de manera difusa a través, principalmente, del suelo. Se trata, por lo tanto, de agua de repisa.

El frente de la galería muestra un gran charco de agua pero aquí la afluencia de agua es ya muy pequeña.

23, 24 y 25. LA AFORTUNADA

23, 24 y 25. LA AFORTUNADA

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Santa Cruz de la Palma.

Barranco: Goteras.

Hoja 1:25.000: 4

Hoja 1:5.000: 48

x (UTM): 226.195

y (UTM): 3.175.850

z (m): 710

Altura media: 1.75 m

Utilización del agua: Regadío (90%) y abastecimiento (10%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 1634
(muestra 23), 1878 (muestra 24) y 2649 (muestra 25).

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de las Goteras, a una cota de 710 m s.n.m. y a 3.5 km de la línea de costa. Su longitud total es de 2800 m. En sus últimos 200 m se han producido desprendimientos del techo y hastiales que dificultan la marcha y la hacen peligrosa. No tiene cambio de dirección en todo su recorrido.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería está emboquillada en coladas basálticas escoriáceas correspondientes a la Serie Antigua II. La galería corta, en toda su longitud las coladas correspondientes a las Series II y I, cuyo contacto debe situarse alrededor de los 1800 y 1900 m. La Serie II se caracteriza por presentar potentes tramos escoriáceos, poco compactados en general. Las coladas son afaníticas hasta los 400 m y a partir de aquí, se hacen cristalinas con fenocristales, a veces centimétricos, de piroxeno y olivino. Estos últimos están poco alterados. Hacia los 1000 m aparecen nuevamente coladas

afaníticas haciéndose mayoritarias a partir de los 1200 m. No aparecen minerales secundarios de recristalización.

A partir de los 1800-1900 m, el basalto se hace muy cristalino presentando olivinos iddingsitizados frecuentemente. Son abundantes las recristalizaciones de carbonatos y de nefelina en las vacuolas de las coladas. El aspecto general de este tramo es muy compacto. Estas características podrían indicar que nos encontramos en la denominada Serie Antigua I.

A los 2425 m aparece un conglomerado poligénico con cantos muy heterométricos (de más de un metro a pocos centímetros) de subangulares a subredondeados, empastados en una matriz muy arcillosa. Los cantos presentan muy abundantes recristalizaciones de carbonatos y los olivinos están alterados. Presentan numerosos desprendimientos, por lo que su recorrido entraña dificultades y es peligroso. Alguno de los tramos está revestido (2482-2493 m). Tiene varias fracturas importantes, por donde circula el agua de forma significativa.

Hidrogeología:

Durante los 700-800 m iniciales son frecuentes las humedades y goteos de poca importancia.

A partir de los 1540 m se encuentra agua en el suelo de la galería así como en el canal. A los 1565 m y coincidiendo con un dique de 1.5 m de potencia, dirección N-70°-E y buzamiento 50°-S, existe una cata a ras de suelo en el lado derecho, por donde mana agua.

A los 1874 m existe un almagre de 0.5 m de potencia en donde se produce cierta afluencia de agua a la galería.

A los 2490, 2505, 2568, 2648 y 2712 m de la bocamina existen fracturas por donde afluye el agua de manera considerable.

26 y 27. HIDRAULICA BREÑA ALTA

26 y 27. HIDRAULICA BREÑA ALTA

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Breña Alta.

Barranco: Aduares.

Hoja 1:25.000: 4

Hoja 1:5.000: 54

x (UTM): 227.665

y (UTM): 3.173.140

z (m): 300

Altura media: 1.75 m

Utilización del agua: Regadío (98%) y abastecimiento (2%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 321
(muestra 26) y 3660 (muestra 27).

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de Aduares, a una cota de 300 m s.n.m. y a 2.2 km de la línea de costa. Su longitud total es de 3660 m y presenta a los 350 m de la bocamina un ramal en su margen derecha precintado por Obras Públicas.

De acceso cómodo y trazado sinuoso algunas zonas de techo se presentan más bajas de lo normal.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería está emboquillada en un coluvión muy hererométrico, compacto y cementado. A continuación y durante todo el trazado de la galería se atraviesan coladas basálticas escoriáceas de la Serie Antigua.

En la primera mitad de la galería predominan las escorias llegando a alcanzar importantes espesores. Las coladas se presentan en posición

prácticamente subhorizontal, con ligeros buzamientos hacia el este, por lo que la longitud de las coladas y tramos escoriáceos dentro de la galería son importantes.

Predomina el basalto afanítico o semiafanítico sobre el cristalino. Este último, cuando aparece, es muy piroxénico con fenocristales, a veces, de tamaño centimétrico.

Los olivinos en menor proporción, no muestran señales de alteración. Hacia el frente y en la zona saturada de agua predominan las coladas cristalinas.

Es reseñable la escasez de diques atravesados. No se observa ninguno hasta los 2753 m.

Los buzamientos son tendidos pudiendo considerarse, a veces, como sills. Las zonas piroclásticas no tienen, salvo excepciones, espesores de interés y, por el contrario, los almagres son frecuentes.

28. POLEOS BAJOS

28. POLEOS BAJOS

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Garafia.

Barranco: Franceses.

Hoja 1:25.000: 2

Hoja 1:5.000: 18

x (UTM): 220.940

y (UTM): 3.187.815

z (m): 1175

Altura media: 1.75 m

Utilización del agua: Regadío (97%) y abastecimiento (3%).

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 1857

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de Franceses, a una cota de 1175 m s.n.m. y a 4.7 km de la línea de costa. Tiene una galería principal, con un derrumbe a los 1195 m que impide el paso y un ramal a la izquierda, de 745 m de trazado sinuoso, que llega a ponerse paralelo y a retroceder respecto a la galería principal.

Su sección es incómoda y el acceso se realiza a través de un túnel de unos 200 m por donde discurre el canal.

No presenta gases ni calor.

Litología:

La galería corta en su primera parte las coladas basálticas de la Serie Antigua, escoriáceas con escorias muy compactas, vacuolares y cristalinas, con predominancia de los olivinos sobre los piroxenos. No se atraviesan almagres y los tramos piroclásticos tienen muy poca potencia. Es destacable el hecho de que la red de diques muestra unas orientaciones muy homogéneas en torno a N-S y con buzamientos subverticales.

A partir de los 1687 m aparece un conglomerado poligénico, con cantos heterométricos dominantes empastados en una escasa matriz arcillosa, equivalente al interpretado por algunos autores como el situado en el muro de la Serie I.

El carácter muy colapsable de este material hace que esté revestido casi en su totalidad, existiendo un importante desplome que impide el paso a los 1845 m.

Hidrogeología

La galería muestra humedades y algún goteo en los 800 m iniciales. A partir de los 1465 m se inicia el agua de repisa que se mantiene hasta el frente. Únicamente se pueden destacar como zonas de aporte concentrado de agua los existentes a los 14 y 119 m en el ramal.

Es destacable el hecho de que en el ramal, a partir de los 215 m en que termina el conglomerado ya mencionado, la galería está seca no mostrando señales de humedad ni agua de repisa. La zona saturada se inicia, por lo tanto, a partir de los 1460 m, debiendo corresponder a la Serie I dada su cercanía al conglomerado de base.

29. LA FAYA

29. LA FAYA

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: San Andrés y Sauces.

Barranco: La Faya.

Hoja 1:25.000: 2

Hoja 1:5.000: 19

x (UTM): 224.680

y (UTM): 3.187.000

z (m): 1085

Altura media: 1.70 m

Utilización del agua: Regadío.

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 1102

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de La Faya, a una cota de 1085 m s.n.m. y a 6.4 km de la línea de costa. Tiene una longitud de 1911 m.

No presenta gases ni calor.

Litología:

Se trata de un apilamiento de coladas basálticas de la Serie Antigua, afectadas por diques de fonolitas y basaltos olivínicos con direcciones en torno a los N-20°-E y buzamientos que oscilan entre los 60° y 90°.

Los almagres, de poca potencia, son abundantes al principio de la galería y van haciéndose más escasos hacia el frente.

Hidrogeología

Aunque homogéneamente repartido a lo largo de toda la galería, el rezume más importante se encuentra a los 1115 m de la bocamina, en donde se aporta un porcentaje importante del agua de la galería y en donde termina

el canal. El rezume corresponde a un dique de basalto olivínico con una dirección de N-20°-E y un buzamiento de 75°-SE.

A los 195 m de la bocamina y debido a la existencia de un dique de fonolita de dirección N-30°-E y buzamiento N-90° existe otro rezume significativo.

En el frente de la galería prácticamente no se aporta agua.

30. EL REMO

30. EL REMO

Isla: San Miguel de la Palma.

Municipio: Los Llanos de Aridane.

Barranco: Las Palmas.

Hoja 1:25.000: 5

Hoja 1:5.000: 67

x (UTM): 217.535

y (UTM): 3.162.785

z (m): 75

Altura media:

Utilización del agua: Regadío.

Localización de la muestra (distancia en metros desde la bocamina): 805

Datos generales:

La galería está situada en el barranco de Las Palmas, a una cota de 75 m s.n.m. y a 0.5 km de la línea de costa. Tiene una longitud de 805 m, de los cuales los 195 primeros metros presentan una inclinación descendente de aproximadamente 25°, y puntualmente mayor. Asimismo, el tramo horizontal presenta una importante lámina de agua al principio, por lo que se hace difícil su recorrido. A los 470 m de la bocamina existe un ramal a la derecha, de unos 3 m de longitud e inundado de agua, precintado por Obras Públicas.

El acceso hasta la entrada de la galería es cómodo.

No presenta gases ni calor.

Litología:

Se encuentra emboquillada en una colada escoriácea correspondiente a la Serie Reciente, derramada desde la parte superior del escarpe. Posteriormente se pasa a las coladas poco potentes, basálticas, afaníticas o microcristalinas, escoriáceas y sin compactar, de la Serie III o del Acantilado.

A los 300 m se inicia un importante tramo de cenizas finas de color rojizo, con buzamientos suaves hacia bocamina, que presentan clastos angulosos de color blanco de tamaño centimétrico y bombas volcánicas de orden decimétrico. Un largo tramo revestido (de los 443 a los 465 m y de los 470 a los 485 m) da paso a un depósito de pié de monte de matriz arenosa y cantos muy heterométricos (hasta de orden métrico).

A los 495 m y hasta el final, se atraviesan las coladas basálticas de la Serie Antigua, muy compactas, sin tramos escoriáceos, masivas, afaníticas y con marcada diyuncción columnar.

No se corta ningún dique a lo largo de toda la galería.

Hidrogeología

La totalidad del agua que se explota en la galería se obtiene de una zanja excavada a los 789 m de unos 4 m de profundidad y 3 m de anchura. Dicha agua estaba estancada el día de la visita al no estar bombeándose ningún caudal.

A los 470 m existe otra zanja-galería inundada de agua y que no se explota al estar precintada por Obras Públicas.

Es importante señalar la existencia de agua estancada en el brusco cambio de pendiente que sufre la galería entre los 200 y 310 m, que presenta un espesor máximo de unos 40 cm sobre el fondo de la galería.

ANEXO 2

Resultados analíticos de componentes mayoritarios y minoritarios



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Nº REGISTRO				Fecha de toma				Fecha de análisis				MT	Prof T				D.Q.O				Cl				SO ₄																																																						
9				10				15					23				27				31				36																																																						
44				1				4				9				2				7				3				84				80																																															
41				44				45				47				48				51				52				56				57				60				61				65				66				69				70				72				73				78											
R.S. 110°C				NO ₂				NH ₄				P ₂ O ₅				SiO ₂				Temp. en campo				F ₂																																																							
79				84				85				88				89				92				93				96				97				100				101				102				103																															
B				F				Li				Br				Fe				Mn				Cu				Zn				Pb				Cr																																											
104				108				109				112				113				116				117				120				121				124				125				128				129				132				133				136				137				140				141				14			
Ni				Cd				As				Sb				Se				Al				CN				Detergentes				Hg				Fenoles																																											
145				148				149				152				153				156				157				160				161				164				165				168				169				172				173				176				177				180				181				184			
H.A.P.				Plaguicidas total				R α (2)				R β (2)				Ensayo Bombeo				Nº Muestras				Min. inicio prueba																																																							
185				189				190				195				196				200				201				204				205				209				210				213				214				215				216				220																			
221				222				223				228				229				230				231				236				237				238				239				244																																			
245				246				247				252																																																																			

El Jefe de Laboratorio: <i>[Signature]</i>	RECIBIDO D.A.S. / /	Vº Bº	Recibido Gabinete Informática / /
---	------------------------	-------	--------------------------------------

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarla en ficha de punto de agua.
- Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N.
- El punto decimal es representado por (↓). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
- Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto (1) en µS/cm.; (2) en pCi/l.
- Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES.
- H.A.P = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.
- R = Radiactividad.
- Prof. T Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES:

Br = 0 en <0'05 µg/l



Bono de envío nº.	6029
Referencia de Laboratorio	4
Referencia de envío (Ident. de la muestra)	ISLA DE LA PALMA
Fecha de entrega a Laboratorio	17/11/92

INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

N° REGISTR.:	Fecha de toma:	Fecha de análisis:	MT:	Prof. T:	D.G.O.:	Cl:	SO ₄ :		
9	10 15	16 21	22	23 26	27 30 07	31 35 6	36 40 2		
HCO ₃ :	CO ₃ :	NO ₃ :	Na:	Mg:	Ca:	K:	pH:	Conductividad 20°C(1):	
41 44 60	45 47 5	48 51 5	52 55 38	57 60 1	61 65 3	66 69 2	70 72 9.2	73 78 114	
R.S. 110°C:	NO ₂ :	NH ₄ :	P ₂ O ₅ :	SiO ₂ :	Temp. en campo:	F ₂ :			
79 84	85 88 000	89 92 000	93 96 074	97 100 306	101 102	103			
B:	F:	Li:	Br:	Fe:	Mn:	Cu:	Zn:	Pb:	Cr:
104 108	109 112 000	113 116	117 120 000	121 124	125 128	129 132 000	133 136 000	137 140	141
Ni:	Cd:	As:	Sb:	Se:	Al:	CN:	Detergentes:	Hg:	Fenoles:
145 148	149 152	153 156	157 160	161 164	165 168	169 172	173 176	177 180	181 184
H.A.P.:	Plaguicidas total:	R α (2):	R β (2):	Ensayo Bombeo		N° Muestras:			
185 189	190 195	196 200 + 201 204	205 209 + 210 213	214 215		Min. inicio prueba:			
221 222	223 228	229 230	231 236	237 238	239 244				
245 246	247 252								

El Jefe de Laboratorio:	RECIBIDO D.A.S.	V° B°	Recibido Gabinete Informática
<i>[Firma]</i>	/ /	/ /	/ /

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua
- F₂ Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
- El punto decimal es representado por (/). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
- Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto: (1) en μS/cm; (2) en pCi/l
- Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
- H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
- R = Radiactividad
- Prof. T Profundidad de la toma de muestras en metros

OBSERVACIONES:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Grid of boxes for data entry with labels: N° REGISTRO, Fecha de toma, Fecha de análisis, M.T., Prof., DQO, Cl, SO4, HCO3, CO3, NO3, Na, Mg, Ca, K, pH, Conductividad 20°C(1), R.S. 110°C, NO2, NH4, P2O5, SiO2, Temp. en campo, F2, B, F, Li, Br, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As, Sb, Se, Al, CN, Detergentes, Hg, Fenoles, H.A.P., Plaguicidas total, R alpha (2), R beta (2), N° Muestras, Min. inicio prueba, 221-222, 223-229, 229-230, 231-236, 237-238, 239-244, 245-246, 247-252

Signature and receipt section: E jefe de Laboratorio (signature), RECIBIDO D.A.S., Vº Bº, Recibido Gabinete Informática

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarla en ficha de punto de agua.
• Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
• El punto decimal es representado por (/). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
• Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto: (1) en µS/cm.; (2) en pCi/l
• Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
• H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
• R = Radiactividad.
• Prof. T: Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES:

Vertical grid of boxes for observations



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

N° REGISTRO	Fecha de toma	Fecha de análisis	MT	Prof. T	D.Q.O	C	SO ₄		
					0.5	8	2		
HCO ₃	CO ₃	NO ₃	Na	Mg	Ca	K	pH	Conductividad 20°C(1)	
43	0	1	8	4	6	2	8.0	122	
R.S. 110°C	NO ₂	NH ₄	P ₂ O ₅	SiO ₂	Temp. en campo	F ₂			
	0.00	0.00	0.14	439					
B	F	Li	Br	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cr
	0.00		0.08			0.00	0.00		
Ni	Cd	As	Sb	Se	Al	CN	Detergentes	Hg	Fenoles
H.A.P.	Plaguicidas total	R α (2)	R β (2)	Ensayo Bombeo	N° Muestras	Min. inicio prueba			

El Jefe de Laboratorio:	RECIBIDO D.A.S.	Vº Bº	Recibido Gabinete Informática
<i>[Firma]</i>	/ /		/ /

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base comunicarlo en ficha de punto de agua.
- F₂ Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
- El punto decimal es representado por (.). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
- Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto (1) en µS/cm.; (2) en pCi/l
- Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
- H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
- R = Radiactividad.
- Prof. T Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Grid of boxes for chemical and physical parameters including: N° REGISTRO, Fecha de toma, Fecha de análisis, M.T., Prof. T., D.D.D., Cl, SO4, HCO3, CO3, NO3, Na, Mg, Ca, K, pH, Conductividad 20°C(1), R.S. 110°C, NO2, NH4, P2O5, SiO2, Temp. en campo, F2, B, F, Li, Br, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As, Sb, Se, Al, CN, Detergentes, Hg, Fenoles, H.A.P., Plaguicidas total, Ra (2), Rb (2), N° Muestras, Min. inicio prueba, and various empty boxes for additional data.

Administrative section with fields for 'Jefe de Laboratorio' (with signature), 'RECIBIDO D.A.S.' (with date 1/1), 'Vº Bº', and 'Recibido Gabinete Informática' (with date 1/1).

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de bare, comunicarlo en ficha de punto de agua.
• El punto decimal es representado por (.)
• Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto (1) en µg/cm.; (2) en pCi/l
• Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
• H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
• R = Radiactividad
• Prof. T. = Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES:

Series of horizontal lines for recording observations.

Bono de envío nº 6029
Referencia de Laboratorio 24
Referencia de envío (Ident. de la muestra) ISLA DE LA PALMA
Fecha de entrega a Laboratorio 17 / 01 / 92

INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Form fields for N° REGISTRO, Fecha de toma, Fecha de análisis, M.T, Prof. T, D.Q.O., Cl, SO4

Form fields for HCO3, CO3, NO3, Na, Mg, Ca, K, pH, Conductividad 20°C(1)

Form fields for R.S. 110°C, NO2, NH4, P2O5, SiO2, Temp. en campo, F2

Form fields for B, F, Li, Br, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr

Form fields for Ni, Cd, As, Sb, Se, Al, CN, Detergentes, Hg, Fenoles

Form fields for H.A.P., Plaguicidas total, R α (2), R β (2), Ensayo Bombeo, N° Muestras, Min inicio prueba

Form fields for 22: 222, 223, 228, 229 230, 231, 236, 237 238, 239, 244

Form fields for 245 246, 247, 252

Signature and stamps: En jefe de Laboratorio, RECIBIDO D.A.S., Vº Bº, Recibido Gabinete Informática

INDICACIONES

- Cuando se modifique en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua.
• Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
• El punto decimal es representado por (.)
• Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto (1) en µS/cm; (2) en pCi/l
• Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
• H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
• R = Radiactividad
• Prof. T = Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES:

Handwritten notes and observations in the designated area.



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

De Laboratorio AGUAS a División de Aguas Subterráneas

Bono de envío nº..... 6029

Referencia de Laboratorio 28

Referencia de envío (Ident de la muestra) ISLA DE LA PALMA

Fecha de entrega a Laboratorio... 17 / 01 / 92

INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Nº REGISTRO				Fecha de toma				Fecha de análisis				MT	Prof. T		D Q O		Cl		SO ₄																																
																																																			
9				10				15				21	22	23	25	27	30	31	35	36	40																														
HCO ₃		CO ₃		NO ₃		Na		Mg		Ca		K		pH		Conductividad 20°C(1)																																			
																																																			
41		44		45		47		48		51		52		56		57		60		61		65																													
48		1		0		6		4		7		4		82		101																																			
R.S. 110°C				NO ₂		NH ₄		P ₂ O ₅		SiO ₂		Temp. en campo		F ₂																																					
																																																			
79				84		85		88		89		92		93		95		97		100		101		102																											
				000		000		011		319																																									
B		F		Li		Br		Fe		Mn		Cu		Zn		Pb		Cr																																	
																																																			
104		108		109		112		113		116		117		120		121		124		125		129		129																											
				000				005										000		000																															
Ni		Cd		As		Sb		Se		Al		CN		Detergentes		Hg		Fenoles																																	
																																																			
145		148		149		152		153		156		157		160		16		164		165		168		169																											
H.A.P.		Plaguicidas total				R α (2)				R β (2)				Ensayo Bombeo		Nº Muestras		Min. inicio prueba																																	
																																																			
185		189				190				195				196				200		201				204				205				209				210				213				214		215		216		220	
																																																			
221		222		223				228				229				230				231				236				237		238		239		244																	
																																																			
245		246		247				252																																											

En Jefe de Laboratorio:	RECIBIDO D.A.S.	Vº Bº	Recibido Gabinete Informática
	/ /	/ /	/ /

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua.
- F₂ Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
- El punto decimal es representado por (▲). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándose a la última casilla de la derecha de cada campo
- Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto (1) en μS/cm.; (2) en pCi/l
- Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
- H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
- R = Radiactividad
- Prof. T Profundidad de la toma de muestras en metros.

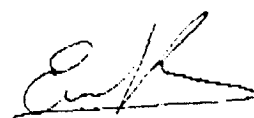
OBSERVACIONES:

ANEXO 3

Resultados analíticos de ^{18}O y Deuterio

LABORATORIO DE GEOQUIMICA DE ISOTOPOS ESTABLES U.E.I FISICOQUIMICA Y GEOQUIMICA MINERAL ESTACION EXPERIMENTAL DEL ZAIDIN (C.S.I.C) Prof. Albareda N°1 18008 GRANADA			TELF: (958)121011 EXT:241 FAX: (958) 129600 TELEX: 78798EEZG E		
AGUAS					
MUESTRA	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$	$\delta^2\text{H}_{(\text{SMOW})}$	MUESTRA	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$	$\delta^2\text{H}_{(\text{SMOW})}$
ISLP-1	-6,57		ISLP-23	-4,81	
ISLP-2	-6,17		ISLP-24	-5,79	
ISLP-3	-6,51		ISLP-25	-5,62	
ISLP-4	-6,26		ISLP-26	-3,68	
ISLP-5	-6,18		ISLP-27	-4,53	
ISLP-6	-6,07		ISLP-28	-5,86	
ISLP-7	-5,13		ISLP-29	-5,25	
ISLP-8	-5,87		ISLP-30	-4,54	
ISLP-9	-5,05		LLUVIA (P1)	-2,51	
ISLP-10	-4,03		LLUVIA (H)	-1,36	
ISLP-11	-5,38				
ISLP-12	-6,13				
ISLP-13	-6,08				
ISLP-14	-5,72				
ISLP-15	-6,38				
ISLP-16	-5,49				
ISLP-17	-5,38				
ISLP-18	-5,58				
ISLP-19	-6,30				
ISLP-20	-6,06				
ISLP-21	-5,87				
ISLP-22	-5,01				

Granada a 23 de Diciembre de 1992.



Fdo. Emilio Reyes Camacho

LABORATORIO DE GEOQUIMICA DE ISOTOPOS ESTABLES U.E.I FISICOQUIMICA Y GEOQUIMICA MINERAL ESTACION EXPERIMENTAL DEL ZAIDIN (C.S.I.C) Prof. Albareda Nº1 18008 GRANADA			TELP: (958)121011 EXT:241 FAX: (958) 129600 TELEX: 78798EEZG E		
AGUAS					
MUESTRA	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$	$\delta^2\text{H}_{(\text{SMOW})}$	MUESTRA	$\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$	$\delta^2\text{H}_{(\text{SMOW})}$
ISLP-1		-40,0	ISLP-23		-19,8
ISLP-2		-27,0	ISLP-24		-20,0
ISLP-3		-35,2	ISLP-25		-23,0
ISLP-4		-34,7	ISLP-26		-15,1
ISLP-5		-41,8	ISLP-27		-17,3
ISLP-6		-33,5	ISLP-28		-30,6
ISLP-7		-23,0	ISLP-29		-27,6
ISLP-8		-31,7	ISLP-30		-26,7
ISLP-9		-23,7	LLuvia, Pl.		-13,1
ISLP-10		-19,9	LLuvia, H.		- 4,0
ISLP-11		-20,2			
ISLP-12		-23,0			
ISLP-13		-37,5			
ISLP-14		-32,2			
ISLP-15		-39,4			
ISLP-16		-29,1			
ISLP-17		-27,4			
ISLP-18		-25,6			
ISLP-19		-33,0			
ISLP-20		-29,1			
ISLP-21		-30,6			
ISLP-22		-21,1			

Granada a 14 de Abril de 1993.

Edo. Emilio Reyes